

ÜÇ FAZLI DEVRELER

9.1 VEKTÖRLERİN ÇİFT HARFLERLE GÖSTERİLMESİ

9.2 İKİ FAZLI AKIM

9.3 ÜÇ FAZLI SİSTEM

9.4 GÜÇ ÖLÇMEK

9.5 ÜÇ FAZLI SİSTEMDE GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ

9.6 KARIŞIK ÖRNEK PROBLEMLER

9. ÇOK FAZLI AKIMLAR

Alternatif akım üreten jeneratörlere Alternatör denir. Eğer bir alternatör yalnız bir sinüs dalgası şeklinde emk üretirse, 1 fazlı alternatör denir. Şimdiye kadar incelediğimiz elektrik devrelerindeki kaynaklar hep 1 fazlı kaynaklardı. Eğer bir alternatör 90 derece faz farklı iki sinüsoidal emk üretiyorsa buna iki fazlı alternatör denir. Eğer bir alternatör aralarında 120'şer derece faz farkı bulunan üç sinüsoidal emk üretiyorsa, böyle bir kaynağa da üç fazlı alternatör denir.

Enerjinin iletimi ve üretimi bakımından çok fazlı sistemin bir fazlı sistem üstünlükleri :

a-) Aynı boyuttaki iki veya üç fazlı alternatör bir fazlıdan daha fazla güç verir.

b-) Çok fazlı alternatörde kilowatt–saat başına enerjinin maliyeti bir fazlıdan daha düşüktür.

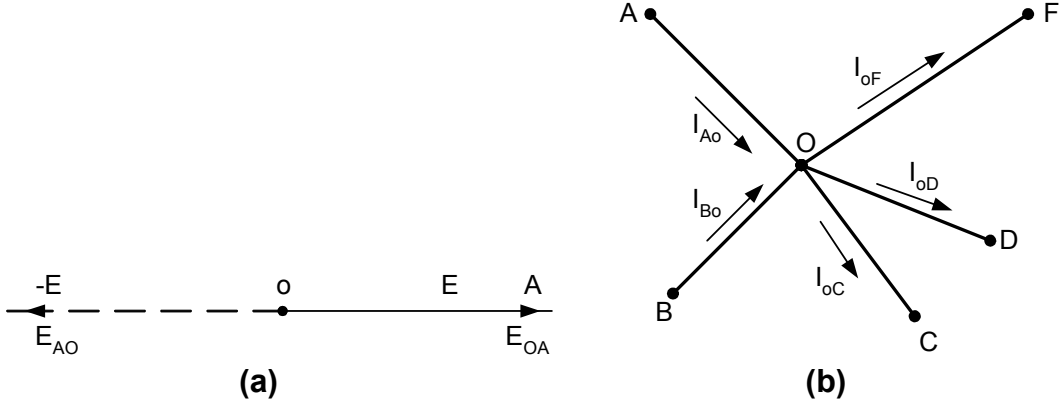
c-) Çok fazlı enerji iletim hatları bir fazlı hatlardan daha ucuzdur. Örneğin üç fazlı enerji iletim hattının bakır ağırlığı eşdeğer 1 fazlı hattın $\frac{3}{4}$ 'ü kadardır.

9.1 VEKTÖRLERİN ÇİFT HARFLERLE GÖSTERİLMESİ

Birden fazla gerilim ve akım kaynağı veya 2 ve 3 fazlı gerilim kaynaklarını ihtiva eden akım ve gerilim vektörleri için sistemli bir gösterme şekli kabul edilirse problemlerin çözümünde hata yapma ihtimali azalır.

Şekil 9.1 (a) daki E vektörünü ele alalım. Bu vektörün başlangıcı O ve uç kısmında A'dır vektörün yönü O'dan A'ya doğrudur. Bu vektörü çift harfle (E_{OA}) şeklinde gösterebiliriz. (OA) harfleri bize vektörün yönünü de göstermiş olur. E vektörünün tersi olan (180 derece faz farklı) $-E$ vektörü çift harflerle (E_{AO}) şeklinde gösterilir. Bir vektörün alt yanındaki harflerinin yeri değişirse vektör 180° derece döndürülmüş olur.

$$E_{AO} = -E_{OA}$$



Şekil 9.1. Vektörlerin çift harfle gösterilişi

Şekil 9.1 (b)'deki O düğüm noktasına gelen ve giden akımların yönleri işaretlenmiş ve vektöryel olarak gösterilmiştir. Düğüm noktasına gelen akımların vektöryel toplamı, ayrılan akımların vektöryel toplamına eşittir.

$$I_{Ao} + I_{Bo} = I_{oC} + I_{oD} + I_{oF}$$

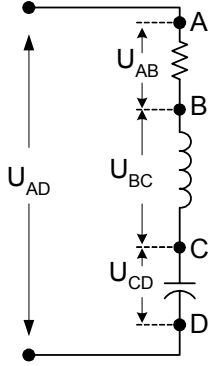
Eşitliğin bir tarafını diğer tarafa taşıyalım,

$$I_{oA} + I_{oB} + I_{oC} + I_{oD} + I_{oF} = 0$$

Dikkat edilirse, akım vektörleri eşitliğin bir tarafına veya öteki tarafına aktarıldığında başlangıç veya son harflerin yer değiştirdiği görülür.

Şekil 9.2'deki seri RLC devresinde AD uçlarındaki gerilim, her elemanın uçlarındaki gerilimlerin vektöryel toplamına eşittir.

$$U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$$

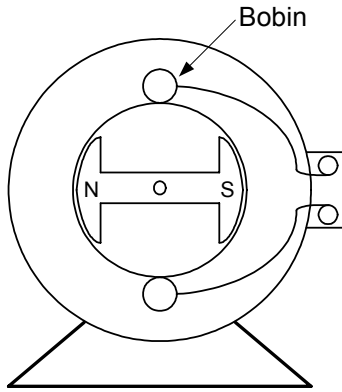


Şekil 9.2 Seri RLC devre

Dikkat edilirse bileşke vektörün ilk harfi birinci vektörün ilk harfi, bileşke vektörün ikinci harfi'nde üçüncü vektörün ikinci harfi olduğu görülür. Toplanan vektörlerden birinci (U_{AB}) vektörünün ikinci harfi (B), ikinci (U_{BC}) vektörün birinci harfi (B) ve ikinci harf C, üçüncü U_C vektörünün ilk harfi de C'dir

9.2 İKİ FAZLI AKIM

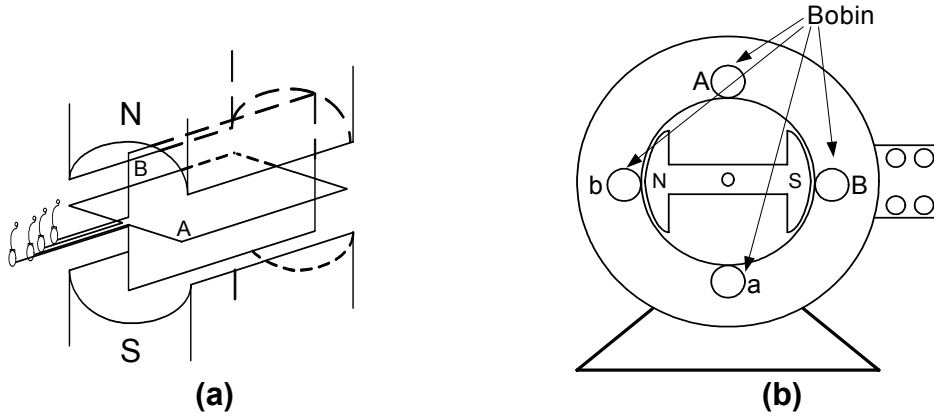
NS kutupları arasında döndürülen bir bobinde sinüsoidal bir emk indüklenir. Şekil 9.3'te görüldüğü gibi stator'a bir bobin yerleştirilir ve ortadaki NS kutbu döndürülürse, kutupların manyetik akısı tarafından kesilen bobinde sinüsoidal bir emk indüklenir. Pratikte kullanılan alternatif akım jeneratörlerinin büyük güçlü ve yüksek gerilimli olanları hep bu tipte yapılarla yani bobinler sabit tutularak kutuplar döndürülür.



Şekil 9.3

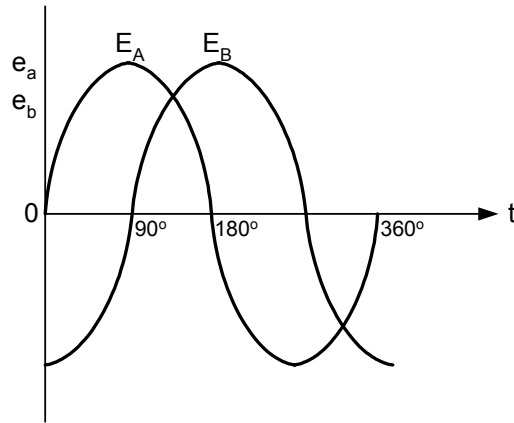
Şekil 9.4 (a) da görüldüğü gibi NS kutupları arasın birbirine dik iki bobin yerleştirilir, bobinlerin uçları mildeki 4 bileziğe bağlanırsa, kutuplar döndürüldüğünde A bobininde ve B bobininde indüklenen sinüsoidal emk'lar arasında da 90°'ar derece faz farkı olur.

Şekil 9.4 (b) de görüldüğü gibi, A ve B bobinleri birbirine dik olarak statora yerleştirilir, ortadaki NS kutupları döndürülürse, A ve B Bobinlerinin uçlarından 90 derece faz farklı sinüsoidal iki emk alınır.



Şekil 9.4 İki fazlı alternatif emk'nın elde edilmesi.

A ve B bobinlerinde indüklenen emk'ların değişim eğrisi Şekil 9.5'te görülmüyor. Bobinlerin sarım sayıları birbirine eşit olursa, emk'ların da genlikleri dolayısıyla etkin değerleri birbirinin aynı olur. Şekil 9.5'te A bobininin emk'sı B'den 90° derece ilerdedir.



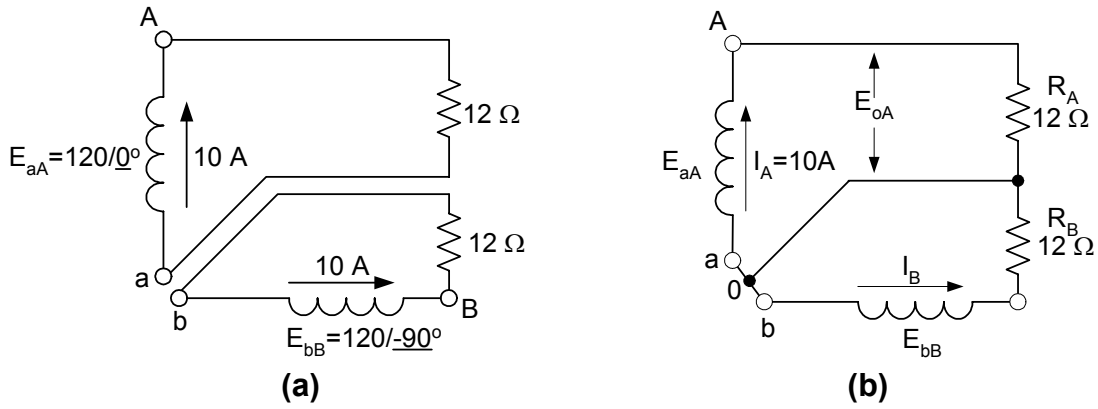
Şekil 9.5 Sinüsoidal A ve B emk'ları

Şekil 9.4'deki jeneratörlere iki fazlı alternatörler ve elde edilen emk'lere de iki fazlı alternatif akım denir. Emk ların herhangi bir andaki değerleri

$$e_a = E_m \cdot \sin \omega t$$

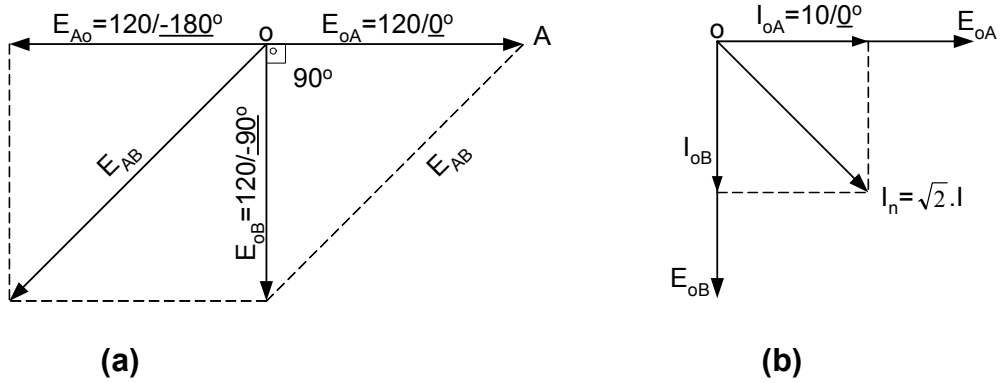
$$e_b = E_m \cdot \sin (\omega t - 90^\circ)$$

İki fazlı jeneratördeki A ve B bobinlerinde indüklenen emk'ların etkin değerlerinin 120 Volt ve bobinlerin uçlarına bağlanan omik dirençlerin 12'şer ohm olduğunu kabul edelim. Şekil 9.6 (a) da görüldüğü gibi fazlardan 10 amper akım çekilir.



Şekil 9.6 İki fazlı sistem

Her iki fazın yan yana olan dönüş iletkenleri yerine A B uçları birleştirilerek tek bir hat çekilirse, Şekil 9.6 (b) elde edilir. E_{aA} gerilimi ile I_{aA} akımı, E_{bB} gerilimi ile I_{bB} akımı aynı fazdadır. Çünkü, omik dirençle $\cos \varphi = 1$ olan yükler bağlıdır. Şu halde, I_{aA} akımı ile I_{bB} akımı arasındaki faz farkı 90° derecedir. Müşterek olan dönüş iletkenine (Nötr hattı) denir. Nötr hattından geçen akım, 90° derece faz farklı I_{aA} ve I_{bB} akımlarının vektörel toplamına eşittir. İki dış hat arasındaki potansiyel farkı da vektörel işlemle bulunabilir.



Şekil 9.7 İki fazlı sistemde gerilim ve akım vektör diyagramları.

İki fazlı sistemde iki dış hatlar arasındaki gerilim Şekil 9.7 (a) daki vektör diyagramından bulunur.

$$E_{oA} = E_{oB} = E_f \text{ olduğundan, } E_{AB} = E_{AO} + E_{OB}, \quad E_{AB} = \sqrt{2} \cdot E_f$$

$$E_{AB} = \sqrt{2} \cdot 120 = 170 \text{ Volt .}$$

Şekil 9.7 (b)'deki vektör diyagramından nötrden geçen akımı hesaplayalım.

$$I_n = \sqrt{2} \cdot I$$

$$I_n = \sqrt{I_A^2 + I_B^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = \sqrt{2} \cdot 10 = 14,14 \text{ A.}$$

Şu halde iki fazlı bir sistemde iki dış hat arasındaki potansiyel farkı faz emk'lerinin $\sqrt{2}$ katına, nötr akımı da faz akımının $\sqrt{2}$ katına eşittir.

İki fazlı sistemde güç bir faz gücünün iki katına eşittir.

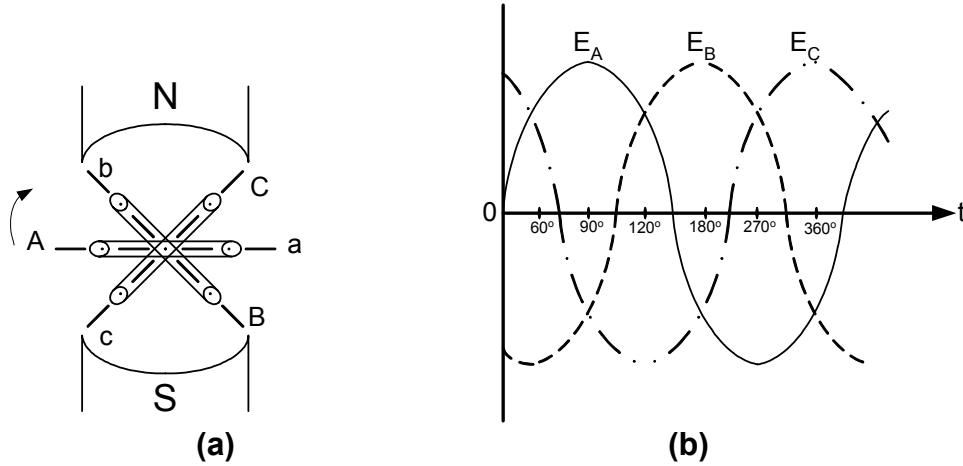
$$P = 2 \cdot E \cdot I \cdot \cos \varphi$$

E = faz gerilimi, I = Faz akımı, $\cos \varphi$ = yükün güç katsayısı

9.3 ÜÇ FAZLI SİSTEM

1.ÜÇ FAZLI EMK'İN ELDE EDİLiŞİ

NS kutupları arasında Şekil 9.8 (a) da görüldüğü gibi üç tane bobin 120° 'şer derece faz farklı olarak yerleştirilerek döndürülürse, aralarında 120° şer derece faz farkı olan üç tane sinüsoidal emk elde edilir. Her bobinin uçları mildeki altı bileziğe bağlanırsa, bileziklere sürtünen fırçalarla bobinlerde indüklenen emk lar dışarıya alınarak yükler bağlanabilir. Şekil 9.8 (b) de A, B ve C bobinlerinde indüklenen 120° 'şer derece faz farklı emk'lerin değişim eğrileri görülmüyor.



Şekil 9.8 Üç fazlı emk'in elde edilişi ve emk'lerin değişim eğrisi

A, B ve C bobinlerinin sarım sayıları bir birine eşit olursa indüklenen emk'lerin maksimum değerleri, dolayısıyla etkin değerleri de bir birine eşit olur. Bu 120° şer derece faz farklı ve maksimum değeri aynı olan üç eğri aşağıdaki gibi ifade edilir.

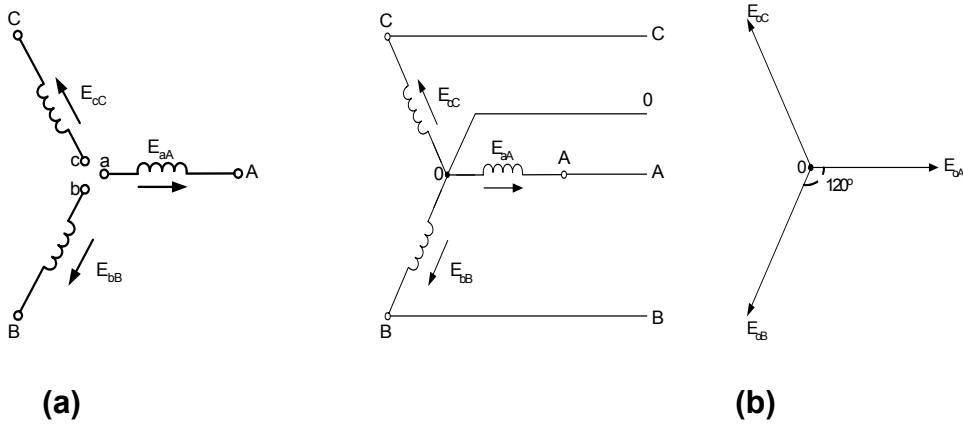
$$\begin{aligned} e_A &= E_m \cdot \sin \omega t \\ e_B &= E_m \cdot \sin (\omega t - 120^\circ) \\ e_C &= E_m \cdot \sin (\omega t - 240^\circ) \end{aligned}$$

Şekil 9.8 incelendiğinde, A bobininde indüklenen emk (+Em) değerini aldıktan 120° sonra B bobininde indüklenen emk (+Em) değerini alır. B den 120° sonra C bobininde indüklenen emk (+Em) değerine ulaşır. C bobinindeki emk A bobinindeki emk dan 240° geri veya 120° ileridedir. C bobinindeki emk A bobinindeki emk dan 240° geri veya 120° ileridedir.

2. Yıldız (Y) Bağlı sistem

Şekil 9.9 (a) da A , B ve C bobinlerinin durumu indüklenen emklerin vektör yel gösterilişleri çizilmiştir. Bobinlerin son uçları (a,b ve c) birleştirilirse, şekil 12.9 (b)'de Y bağlı sistem ve vektör diyagramı elde edilir.

Şekil 9.9 (b)'de görüldüğü gibi, 120 derece faz farklı üç bobinin son uçları birleştirilerek elde edilen noktaya (o) denir ve A, B ve C uçlarından ve o'dan birer hat çıkarırsak, ABC faz hatlarını ve sıfır hattını ilave eden bir sistem elde ederiz. Buna yıldız sistem denir. Faz hatları ile nötr arasındaki gerilimler birbirine eşit ve 120'şer derece faz farklıdır. Herhangi bir faz hattı ile nötr arasındaki gerilime <<**Faz Gerilimi**>> denir.



Şekil 9.9 Üç fazlı emk'ların yıldız bağlanması ve vektör diyagramı

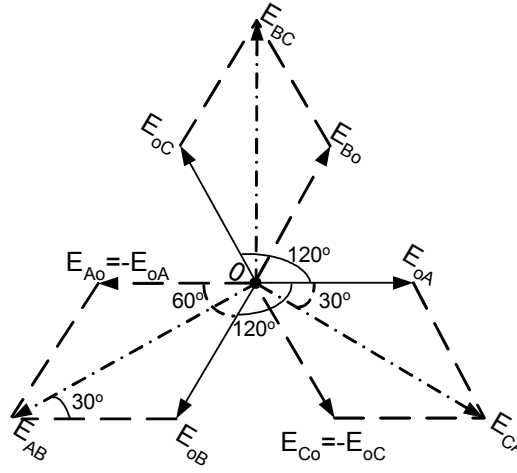
a. Fazlar Arası Gerilim (Hat Gerilimi) :

A,B ve C fazları arasındaki gerilimlerin vektör diyagramlarını çizmeye ve fazlar arası gerilimin mutlak değerini faz gerilimi ile ifade etmeye çalışalım.

Şekil 9.9 (b)'deki devrede AB faz hatları arasındaki E_{AB} gerilimi, E_{OA} ve E_{OB} faz gerilimlerinin vektörel toplamına eşittir.

$$E_{AB} = E_{AO} + E_{OB}$$

Şekil 9.10'da E_{AB} vektörü $E_{AO} = -E_{OA}$ vektörü ile E_{OB} vektörünün bileşkesi alınarak çizilmiştir. BC faz hatları arasındaki E_{BC} gerilimi $E_{BC} = E_{BO} + E_{OC}$ dir. CA faz hatları arasındaki gerilim de



Şekil 9.10 Yıldız sistemde faz ve fazlar arası emk'lar vektör diyagramı

$E_{CA} = E_{CO} + E_{OA}$ vektörel toplamına eşittir. Şekil 9.10'da E_{BC} ve E_{CA} fazlar arası gerilimlerin çizilişleri görülmüyor. Vektör diyagramı incelendiğinde E_{AB} , E_{BC} ve E_{CA} fazlar arası gerilimlerinin de (hat gerilimlerinin) arasında 120°'lik faz farkı olduğu görülmüyor.

E_{AB} vektörünün genliği (mutlak değeri) vektör diyagramından hesaplanabilir.

$$E_{AB} = 2(E_{OB})\cos 30^\circ = 2.(E_{OB})\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} . (E_{OB})$$

Faz gerilimleri birbirine eşit olduğu için fazlar arası gerilimlerde birbirine eşittir. $E_{AB} = E_{BC} = E_{CA} = E$. Fazlar arası gerilim faz geriliminin $\sqrt{3}$ katına eşittir.

$$E = \sqrt{3} . E_f$$

b. Yanlış yıldız bağlama

Üç fazlı emk'nın indüklendiği A,B ve C faz bobinlerini yıldız bağlarken son uçlarını (a,b,c) bir köprü ile birleştirmemiz gereklidir. Yıldız köprüsünü yaparken fazlardan her hangi birinin uçlarını karıştırmamız neticesinde son ucu diye başlangıç ucunu diğer fazların son uçları ile birleştirebiliriz. Şekil 9.11 (a)'da görüldüğü gibi üçüncü fazın uçlarını karıştırarak başlangıç ucu C'yi diğer birinci ve ikinci fazların son uçları ile birleştirelim. Birinci faz emk'yı X ekseninde E_{OA} vektörü ile, ikinci faz emk'sı birinci faz vektöründe 120 derece geride E_{OB} vektörü ile gösterilir. Üçüncü fazın emk'sı birinciden 120 derece ileride veya ikinci fazdan 120 derece geridedir. Üçüncü fazın uçlarını ters bağlamakla bu fazın emk'sı 180 derece döndürülmüş olur. Şekil 9.9(b)'deki üçüncü faz emk'sını gösteren E_{OC} vektörü 180 derece döndürülünce şekil 9.11(b)'deki vektör diyagramındaki gibi E_{cC} vektörü ile gösterilir. Şekil 9.9(b) ve şekil 9.11(b) vektör diyagramları karşılaştırıldığında, tek fark E_{OC} vektörünün ters olarak çizilmesidir.

Üç fazlı bir alternatör yıldız bağlandıktan sonra fazlar arası emk'lerini bir voltmetre ile ölçerek yıldız bağlanmanın doğru veya yanlış olduğu hemen bulunabilir

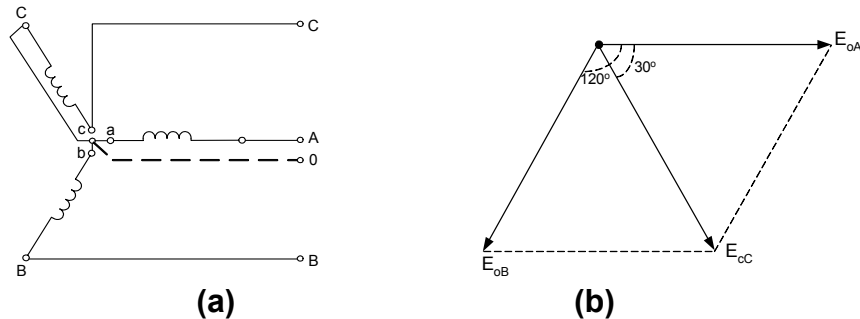
Doğru yıldız bağlamada fazlar arası emk'da faz emk'larının $\sqrt{3}$ katına eşittir. Şekil 9.11 (b)'deki vektör diyagramında görüldüğü gibi yanlış yıldız bağlamada fazlar arası emklardan biri faz emk'sının $\sqrt{3}$ katına eşit olduğu halde diğer fazlar arası emk'lar faz emklarına eşittir.

$$E_{AB} = \sqrt{3} \cdot E_f$$

$$E_{AC} = E_f$$

$$E_{BC} = E_f$$

Şu halde fazlar arası emk'lar faz emk'sının $\sqrt{3}$ katına eşit ise alternatör (alternatif akım jeneratörü) doğru yıldız bağlıdır. Fazlar arası emk'lardan ikisi faz emk'sına eşit ise alternatör yanlış yıldız bağlıdır.



Şekil 9.11 yanlış yıldız bağlı sistem

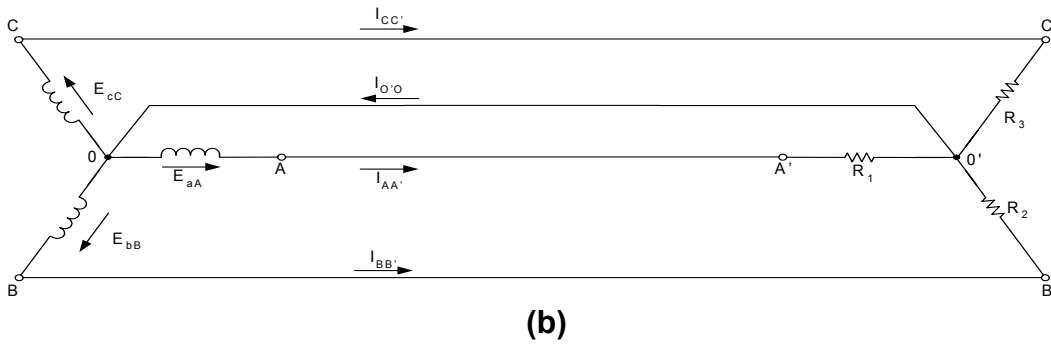
c. Yıldız Sistemde Akımlar

A,B ve C faz emk'lerini şekil 9.12 (a)'da görüldüğü gibi üç eşit omik direnç bağlayalım. Fazların dönüş iletkenleri yerine dirençlerin üç ucunu ve fazların a,b ve c sonuçlarını birleştirerek tek bir iletken çekelim. Bu iletkene "Nötr" hattı denir. Şekil 9.12(b)'deki yıldız sistem elde edilir. Burada kaynak ve yük yıldız bağlanmış, 0 noktaları da bir hatla birleştirilmiştir.

$R_1 = R_2 = R_3$ olduğundan her fazdan çekilen I_{OA} , I_{OB} ve I_{OC} akımları birbirine eşittir. Yük omik olduğu için her faz akımı kendi fazının emk'sıyla aynı fazdadır. Faz emk'leri 120° 'şer derece farklı olduklarına göre, faz akımları arasında da 120° 'şer derece faz farkı vardır. Şekil 9.13'de faz emk'lerinin ve faz akımlarının vektör diyagramı görülüyor.

Şekil 9.12 (b)'de görüldüğü gibi yıldız sistemde faz akımı hat akımına eşittir. Faz akımları bir birine eşit olduğu için hat akımları da bir birine eşittir.

$$\begin{aligned} |I_{OA}| &= |I_{OB}| = |I_{OC}| = I_f \\ |I_{AA'}| &= |I_{BB'}| = |I_{CC'}| = I \\ I_{\text{hat}} &= I_{\text{faz}} \end{aligned}$$



Şekil 9.12 Yıldız Sistem ve yıldız dengeli yükün bağlantışı.

Üç eşit dirençli yükün yıldız bağlanması ile meydana gelen üç fazlı yüke << **Üç fazlı dengeli yük** >> denir. Yıldız sistemde hat akımları faz akımlarına eşittir.

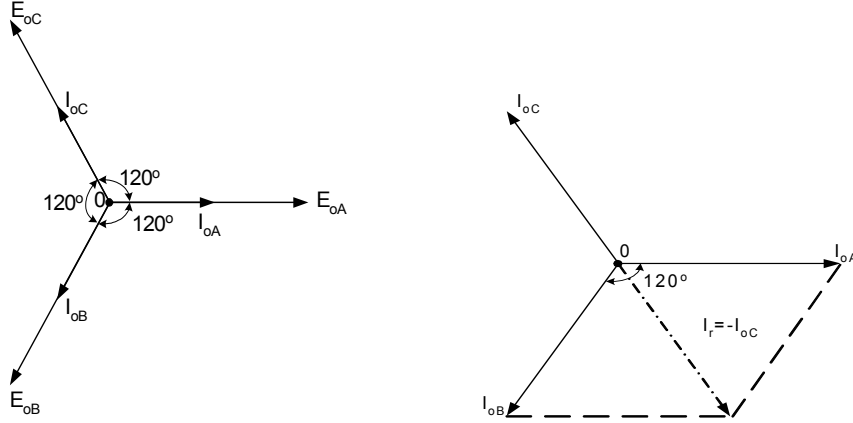
Kaynağın sıfır noktası (0) ile yükün sıfır noktası (0') nü birleştiren iletkene "Nötr Hattı" demiştik. Bu hattan geçen $I_{00'}$ nötr akımını (0) veya (0') düğüm noktalarına Kirşof'un akım kanununu uygulayarak bulabiliriz.

$$I_{OA} + I_{OB} + I_{OC} = I_{O'O}$$

$$I_{A'O'} + I_{B'O'} + I_{C'O'} = I_{O'O'}$$

Bir birine eşit 120° faz farklı üç akım vektörünün bileşkesi sıfırdır.

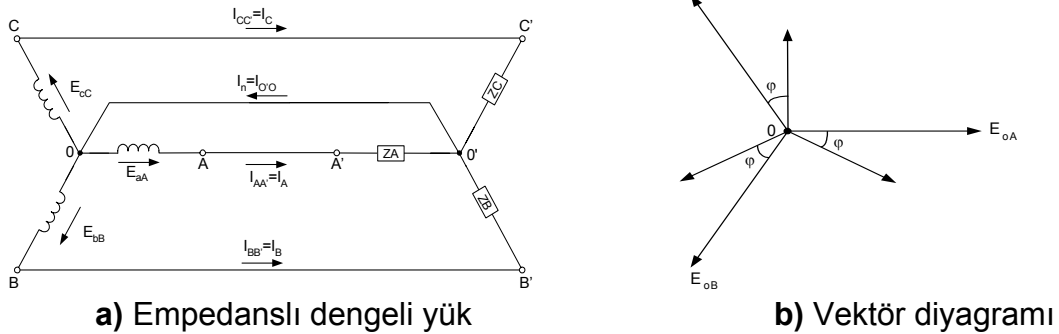
Şu halde dengeli yüklü yıldız sistemde nötrden geçen akım sıfırdır.



a) Faz EMK'ları ve faz akımları vektör diyagramı b) Akımların vektörel toplamı

Şekil 9.13

Üç fazlı Y bağlı bir kaynağa, faz empedansları bir birine eşit üç fazlı yıldız bir yükü bağlayalım, şekil 9.14 (a).



a) Empedanslı dengeli yük

b) Vektör diyagramı

Şekil 9.14

Her fazdan yükün çektiği faz akımları faz emk'lerinden empedansın açısı kadar geri kalır. Şekil 9.14 (b) de faz emk'lerinin ve faz akımlarının vektör diyagramı görülüyor. I_A , Z_A empedansından geçen akım; I_B , Z_B den geçen akım ve I_C de Z_C den geçen akımdır. Nötrden geçen akım 120° farklı I_A , I_B ve I_C akımlarının vektör yel toplamına eşittir.

$$I_A = \frac{E_{OA}}{Z_A} \quad I_B = \frac{E_{OB}}{Z_B} \quad I_C = \frac{E_{OC}}{Z_C}$$

$$I_n = I_A + I_B + I_C$$

Örnek 9.1

Şekil 9.14 (a) da ki devrede yükün empedansları $Z_A = Z_B = Z_C = 30\Omega\angle 30^\circ$ dir. Üç fazlı Y bağlı alternatörün faz emkları $E_{OA} = 120V\angle 0^\circ$, $E_{OB} = 120V\angle -120^\circ$, $E_{OC} = 120V\angle 120^\circ$ dir.

- a) Hat akımlarını, b) Nötrden geçen akımını hesaplayınız. c) Faz emk'lerini ve hat akımlarını gösteren vektör diyagramını çiziniz.

Çözüm 9.1

$$a) I_A = \frac{E_{OA}}{Z_A} = \frac{120\angle 0^\circ}{30\angle 30^\circ} = 4\angle -30^\circ A$$

$$I_B = \frac{E_{OB}}{Z_B} = \frac{120\angle -120^\circ}{30\angle 30^\circ} = 4\angle -150^\circ$$

$$I_C = \frac{E_{OC}}{Z_C} = \frac{120\angle 120^\circ}{30\angle 30^\circ} = 4\angle 90^\circ$$

b)

$$I_n = I_A + I_B + I_C = 4\angle -30^\circ + 4\angle -150^\circ + 4\angle 90^\circ$$

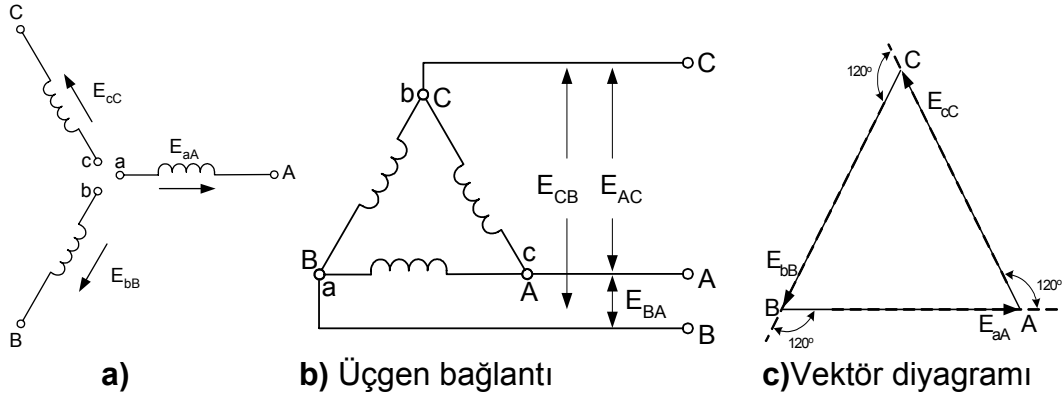
$$I_n = (3,46 - j2) + (-3,46 - j2) + (0 + j4) = 0 + j0$$

$$I_n = 0A$$

c) Vektör diyagramı, şekil 9.14 deki diyagramı benzeridir. Yalnız, $\phi = 30^\circ$ alınacaktır.

3. Üçgen (Δ) Bağlı Sistem

Şekil 9.15 (a) daki üç fazlı alternatörün faz bobinlerinin uçları şekil 9.15 (b) deki gibi bağlandığında üçgen (Δ) bağlantı elde edilir. Üçgen bağlı bir alternatörün emk lerinin vektör diyagramı şekil 9.15 (c) de görülüyor



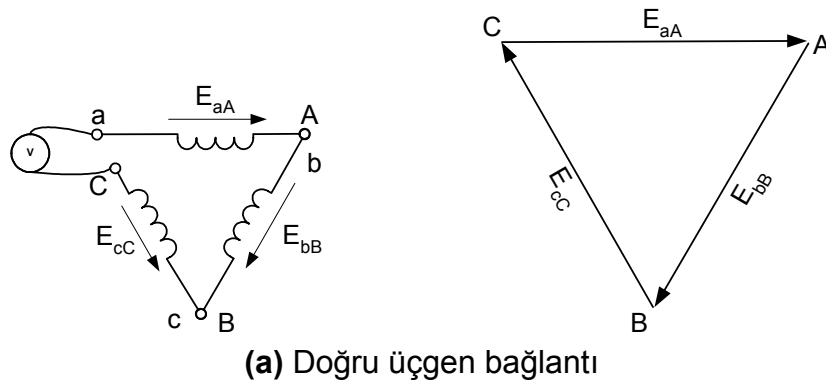
Şekil 9.15 üçgen bağlı sistem

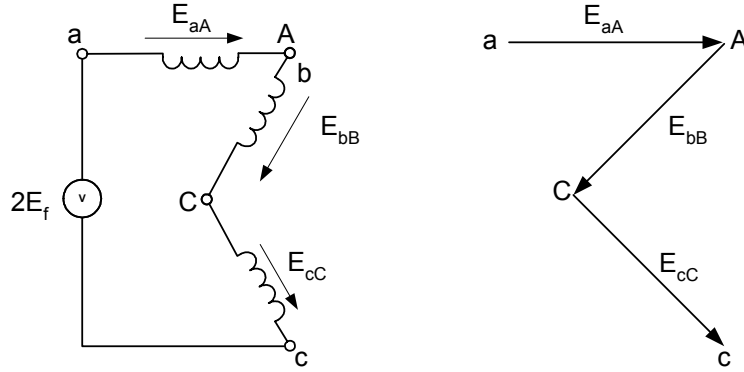
Üç fazlı alternatör üçgen bağlandıktan sonra A, B ve C faz hatları arasındaki emk lerin faz emk lerine eşit olduğu diyagramından görülüyor.

Şu halde, üçgen bağlı bir jeneratörde fazlar arası emk ler faz emk'lerine eşittir.

$$E = E_{faz}$$

Üç fazlı bir jeneratörün üçgen bağlanmasında herhangi bir yanlışlığı önlemek için, fazlar arasındaki üç bağlantıdan ikisi yapılır. Üçüncü bağlantı yapılmadan önce şekil 9.16 (a) da görüldüğü gibi açık iki uca bir volt metre bağlayarak uçlar arasındaki gerilim ölçülür. Uçlar arasındaki gerilim sıfır ise bağlantı doğrudur. Açık olan bu iki uç bir birine bağlanarak üçgen bağlantı tamamlanır. Eğer volt metreden bir faz geriliminin iki katı okunursa bağlantı şekil 9.16 (b) deki gibi yanlıştır. Bu iki uç bağlanırsa alternatörün sargıları arasında aşırı bir akım dolaşır.





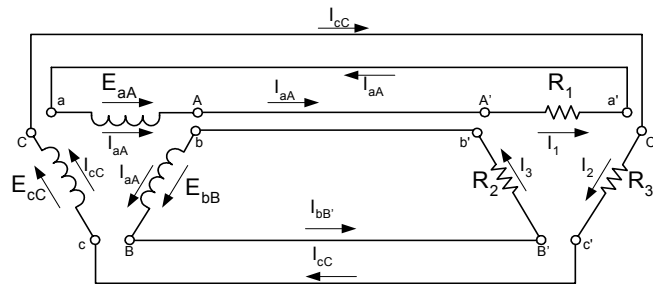
(b) Yanlış üçgen bağlantı

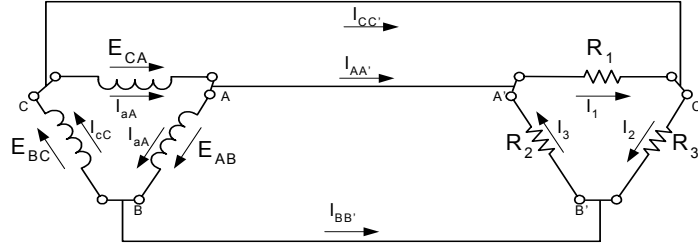
Şekil 9.16 Üçgen sistem

a.Üçgen Sistemde Akımlar

Üç fazlı bir jeneratörün A,B ve C fazlarının uçlarına değerleri bir birine eşit üç tane omik direnç bağlayalım Şekil 12. 17 (a) da görülen üç fazlı devre elde edilir. $R_1=R_2=R_3$ faz emk leride bir birinin eşit olduğu için her fazdan aynı değerde akımlar çekilir. A fazından çekilen I_{aA} akımı faz emk' i E_{aA} ile aynı fazdadır. I_{bB} faz akımı faz emk'i E_{bB} ile, I_{cC} üçüncü faz akımı da E_{cC} faz emk'i ile aynı fazdadır.

Şekil 9.17 (a) daki devrede yan yana çekilen çift iletkenleri birleştirerek tek hat çektiğimizde şekil 9.17 (b) deki devre elde edilir. Burada jeneratör üçgen R_1 R_2 ve R_3 yük dirençleri de üçgen bağlanmış olur. Δ bağlı alternatörden çıkan üç hat (A, B ve C hatları) Δ bağlı R_1 R_2 ve R_3 dirençlerine bağlıdır.





Şekil 9.17 Üçgen sistem

Şekil 9.17 (b) deki (Δ) üçgen sistemde AA' iletkeninden I_{AA} akımı, (a) devresindeki iki iletkeninden geçen akımların vektör farkına eşit olduğu görülür.

$$I_{AA'} = I_{aA} - I_{bB}$$

$I_{AA'}$ akımını Şekil 9.17 (b) devresindeki A düğüm noktasına Kirşofun akım kanununu uygulayarak da bulabiliriz.

$$I_{AA'} + I_{bB} = I_{aA} \quad I_{AA'} = I_{aA} - I_{bB}$$

BB' hattından geçen $I_{BB'}$ akımı ile C'C' hattından geçen $I_{CC'}$ akımı da aynı şekilde bulunabilir.

B noktasına uygulanan Kirşof kanunundan,

$$I_{BB'} = I_{bB} - I_{cC} \quad \text{C noktasına uygulanan Kirşof kanunundan,}$$

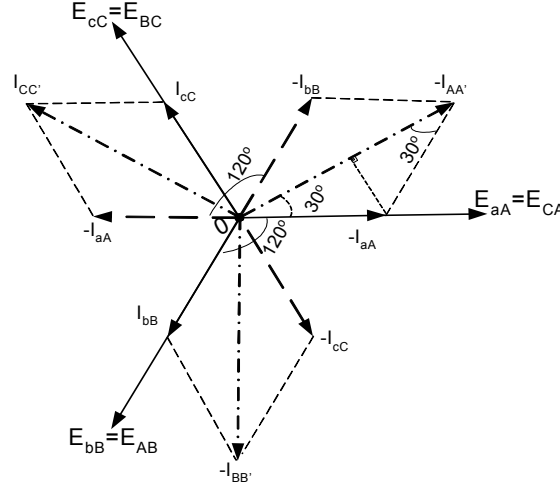
$$I_{CC'} = I_{cC} - I_{aA}$$

Alternatörü yüke bağlayan üç hattan geçen $I_{BB'}$, $I_{AA'}$ ve $I_{CC'}$ akımlarına kısaca HAT AKIMI denir. Alternatörün faz sargılarından geçen akımlara da FAZ AKIMI denir. Şekil 9.17 (a) dan (b) ye geçildiğinde faz emk'leri ile fazlar arası emk'ler arasında şu ilişkiler yazılabilir ;

$$E_{aA} = E_{CA}, \quad E_{bB} = E_{AB}, \quad E_{cC} = E_{BC}$$

Faz emkleri ile aynı fazda olan faz akımlarının vektör diyagramını çizdikten sonra, vektörel işlemlerini yaparak, hat akımlarının da vektör diyagramını Şekil 9.17 (c) de görüldüğü gibi çizebiliriz.

Faz akımları bir birine eşit ve 120 şer derece faz farklı olduğu gibi, hat akımları da bir birine eşit ve 120 şer derece faz farklıdır. $I_{AA'}$ hat akımını vektör diyagramındaki ikiz kenar üçgenden hesaplayalım;



Şekil 9.17 (c) Üçgen sistemde hat ve faz akımları vektör diyagramı

$$|I_{AA'}| = 2 - |I_{aA}| \cos 30^\circ = 2 |I_{aA}| - \sqrt{\frac{3}{2}}$$

$$|I_{AA'}| = \sqrt{3} \cdot |I_{aA}|$$

$$|I_{aA}| = |I_{bB}| = |I_{cC}| = I_f \quad (\text{faz akımı})$$

$$|I_{AA'}| = |I_{BB'}| = |I_{CC'}| = I \quad (\text{hat akımı}) \text{ olduğundan genel olarak,}$$

$$I = \sqrt{3} \cdot I_f \text{ olur.}$$

Üçgen sistemde, üç fazlı alternatörün fazları dengeli yüklü ise alternatörden çekilen hat akımı, faz akımının $\sqrt{3}$ katına eşittir. Üç fazlı alternatör için söylediğimizi üç fazlı yük içinde söyleyebiliriz. Üç fazlı dengeli bir yükün faz akımı, jeneratörden çektiği hat akımının $(1/\sqrt{3})$ üne eşittir.

Hat akımlarını veren yukarıdaki formülleri alt alta yazarak topladığımızda sıfır bulunur.

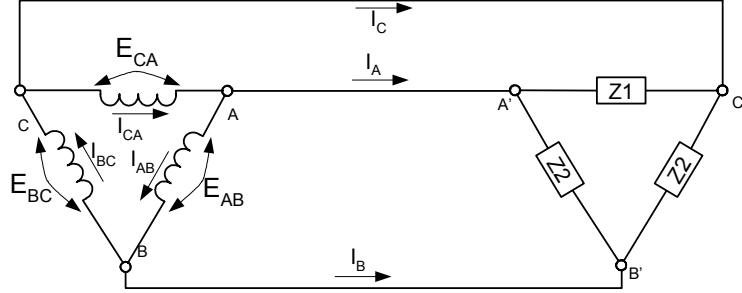
$$I_{AA'} + I_{BB'} + I_{CC'} = 0$$

Şu halde, üçgen sistemde üç hat akımının vektör yel toplamı sıfırdır.

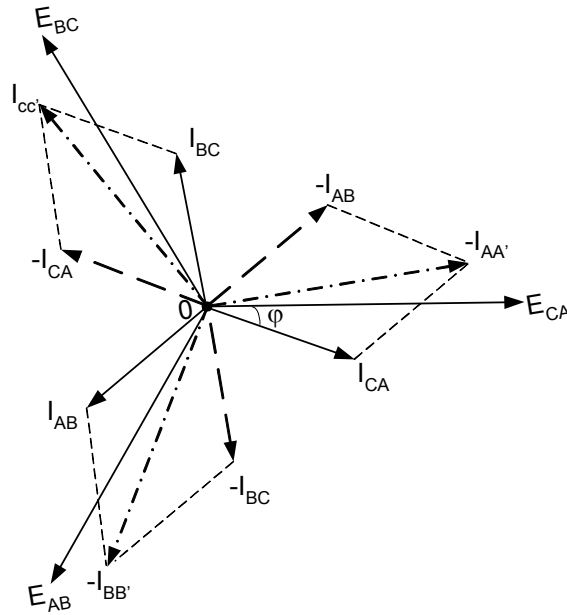
Şekil 9.17 (c) deki vektör diyagramında , bir birine eşit ve 120 şer derece faz farklı hat akımı vektörleri görülüyor.

Üçgen bağlı üç fazlı bir alternatöre empedansları bir birine eşit üçgen bir yükü şekil 9.18 (a) da ki gibi bağlayalım Faz empedanslarının açıları ϕ ise,

alternatörün her fazından geçen akım, faz geriliminden φ kadar geri kalır. Alternatörün faz ve fazlar arası gerilimlerini, faz ve hat akımlarını gösteren vektör diyagramı şekil 9.18 (b) de görülüyor.



Şekil 9.18 (a) Empedanslı dengeli üçgen yükün üçgen bağlı alternatörden beslenişi



Şekil 9.18 (b) üçgen sistemde emk'ler ve faz ile hat akımları vektör diyagramı

4.Üç Fazlı Sistemde Güç

a. Dengeli yüklü Yıldız Sistemde Güç

Bir fazlı A.A da güç $P = U.I \cdot \cos \varphi$ vattır. Üç fazlı Y bağlı dengeli bir yükte harcanan güç, bir fazın gücünün 3 katına eşittir.

$$P_y = 3 U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi$$

Üç fazlı yüke sarf edilen gücü, hat akımı ve fazlar arası gerilimle ifade edebilmek için $U_f = U / \sqrt{3}$; $I_f = I$ değerlerini eşitlikteki yerlerine yazalım;

$$P_y = 3 (U / \sqrt{3}) \cdot I \cdot \cos\phi$$

$$P_y = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$$

P_y = Dengeli yüklü Y sisteminde güç, vat (W)

U = Fazlar arası gerilim, volt (V)

I = Hat akımı, amper.

b. Dengeli Yüklü Üçgen Sistemde Güç

Dengeli yüklü üçgen bağlı bir alternatörden çekilen güç veya üçgen bağlı dengeli bir yükte sarf edilen güç, bir fazda sarf edilen gücün 3 katına eşittir.

$$P_{\Delta} = 3U_f \cdot I_f \cdot \cos\phi$$

U_f yi fazlar arası gerilim, I_f yi de hat akımı cinsinden ifade ederek formülde yerine yazalım;

$$P_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$$

Y ve Δ bağlı dengeli yüklerin çektikleri toplam güçleri veren formüllerle karşılaştırılırsa aynı oldukları görülür. Şu halde, dengeli yükü Y ve Δ sisteminde güç;

($P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$) formülü ile hesaplanır.

5.Faz Sırası

Üç fazlı bir sistemde Y bağlı bir alternatörün ürettiği 120 şer derece Faz farklı A, B ve C (R,S,T) faz emk'lerinin sırasını bilmek dengeli ve dengesiz üç fazlı yüklerin faz ve hat akımlarının hesabı ve vektör diyagramının çizimi için gereklidir.

Şekil 9.19 (a) da üç fazlı Y bağlı bir alternatörden A,B,C ve O (R,S,T ve O) hatlarının çıkışı görülüyor. Şekil 9.19 (b) deki vektör diyagramı faz emkleri arasındaki ilişkiyi gösteriyor. A fazının E_{OA} faz emk'i, B fazı E_{OB} emk'inden 120° ileride veya E_{OB} , E_{OA} den 120° geridedir. B fazının E_{OB} emki C fazının E_{OC} emk'inden 120° ileridedir. Bu sistemde faz sırası A B C dir.

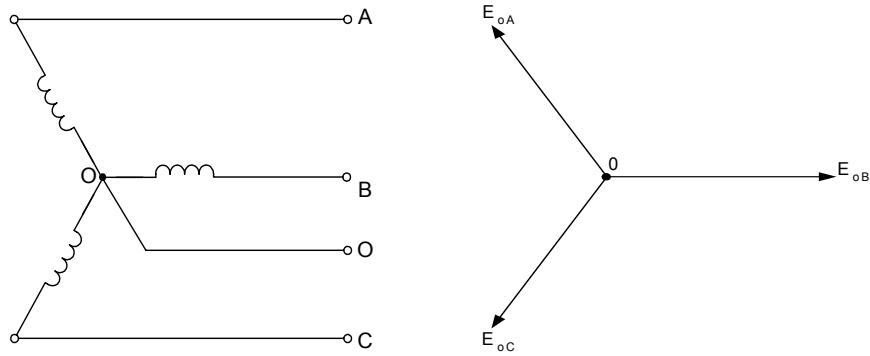
$$E_{OC} = E \angle 120^\circ, E_{OB} = E \angle 0^\circ, E_{OA} = E \angle -120^\circ$$

Şekil 9.20 (a) da görüldüğü gibi alternatörün A ve C fazlarının uçlarını değiştirirsek, (b) deki vektör diyagramında görüldüğü gibi faz sırası C B A (ACB) olur. E_{OB} , E_{OC} den 120° geride, E_{OA} da E_{OB} den 120° geridedir.

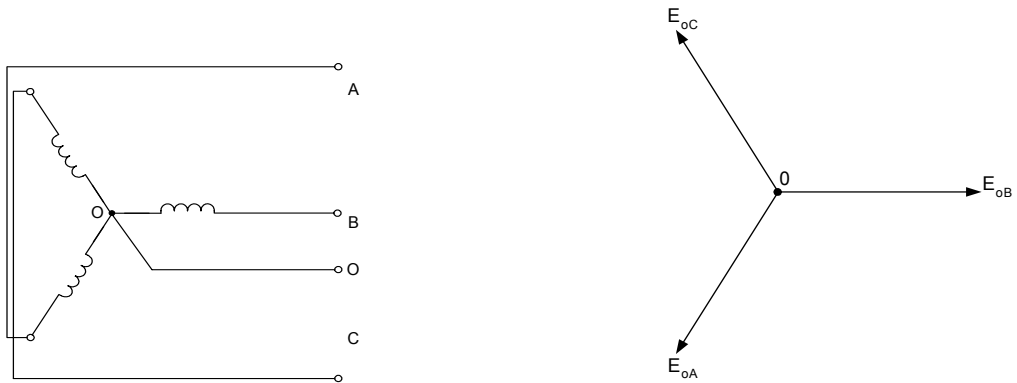
$$E_{OC} = E \angle 120^\circ, E_{OB} = E \angle 0^\circ, E_{OA} = E \angle -120^\circ$$

Şekil 9.21 (b) de görüldüğü gibi fazlar arası emk'leri gösteren vektör diyagramı incelendiğinde faz sırasının A B C olduğu görülür. E_{AB} den 120° geride E_{CA} vektörü gelir. E emk'lerin altındaki birinci harflere bakılırsa faz sırasının A B C olduğu anlaşılır.

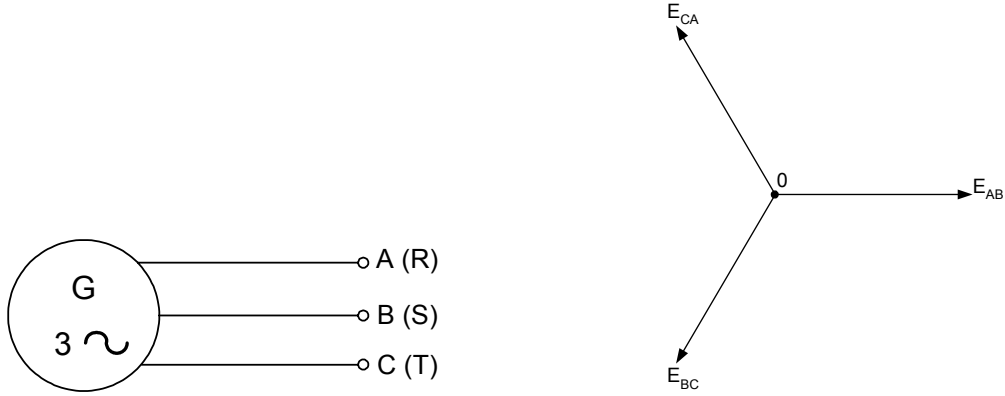
$$E_{AB} = E \angle 0^\circ, E_{BC} = E \angle -120^\circ, E_{CA} = E \angle 120^\circ$$



Şekil 9.19 Yıldız bağlı alternatörün faz sırası ABC



Şekil 9.20 Üç fazlı sistemde faz sırası CBA



Şekil 9.21 Faz sırası ABC

6. Dengeli Üç Fazlı Yükler

Üç fazlı bir A.A şebekesine bağlanan dengeli yıldız ve üçgen yüklerden geçen faz ve hat akımlarının bulunmasını, akım ve gerilim vektör diyagramlarının çizilmesini ve şebekeden çekilen gücün hesaplanmasını örnek problemler çözerek açıklamaya çalışalım

Örnek9.2

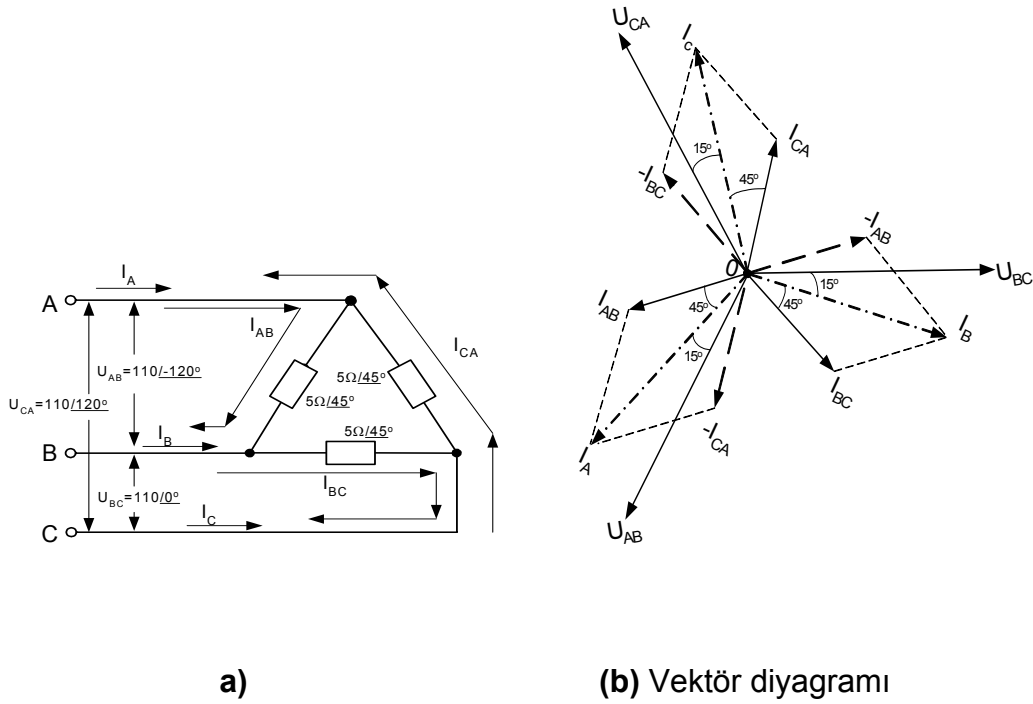
Faz gerilimi 120V olan üç fazlı Y bağlı bir alternatöre bağlanan dengeli 3 fazlı yük 40 kW çekiliyor. Yükün güç katsayısı 0,855 geridir. Hat ve faz akımlarını hesaplayınız.

Çözüm9.2

$$U = \sqrt{3} U_f = \sqrt{3} \cdot 120 = 208V$$
$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{40 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 208 \cdot 0,855} = 130A$$
$$I = I_f = 130A$$

Örnek 9.3

Şekil 9.22 deki dengeli 3 fazlı Δ yükün 3 fazlı şebekeden çektiği hat akımını ve yükün fazlarından geçen akımları hesaplayınız. Gerilim ve akımlar vektör diyagramını çiziniz.



Şekil 9.22 3 fazlı dengeli yük ve vektör diyagramı

Çözüm 9.3

Üçgen yükün her fazından geçen akımları bulalım .

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z} = \frac{110\angle -120^\circ}{5\angle 45^\circ} = 22A\angle -165^\circ = -21,2 - j5,7$$

$$I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z} = \frac{110\angle 0^\circ}{5\angle 45^\circ} = 22A\angle -45^\circ = 15,55 - j15,55$$

$$I_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z} = \frac{110\angle 120^\circ}{5\angle 45^\circ} = 22A\angle 75^\circ = 5,7 + j21,2$$

Yükün üç köşesine kirşofun akım kanunu uygulayalım ,

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} = 22\angle -165^\circ - 22\angle 75^\circ = 38,1\angle -135^\circ$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB} = 22\angle -45^\circ - 22\angle -165^\circ = 38,1\angle -15^\circ$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC} = 22\angle 75^\circ - 22\angle -45^\circ = 38,1\angle 105^\circ$$

Örnek 9.4

Örnek problem 9.3 ü kompleks sayıları kullanmadan çözünüz.

Çözüm 9.4

Üçgen bağlı yükün her fazına uygulanan gerilim şebekenin fazlar arası gerilimine eşittir.

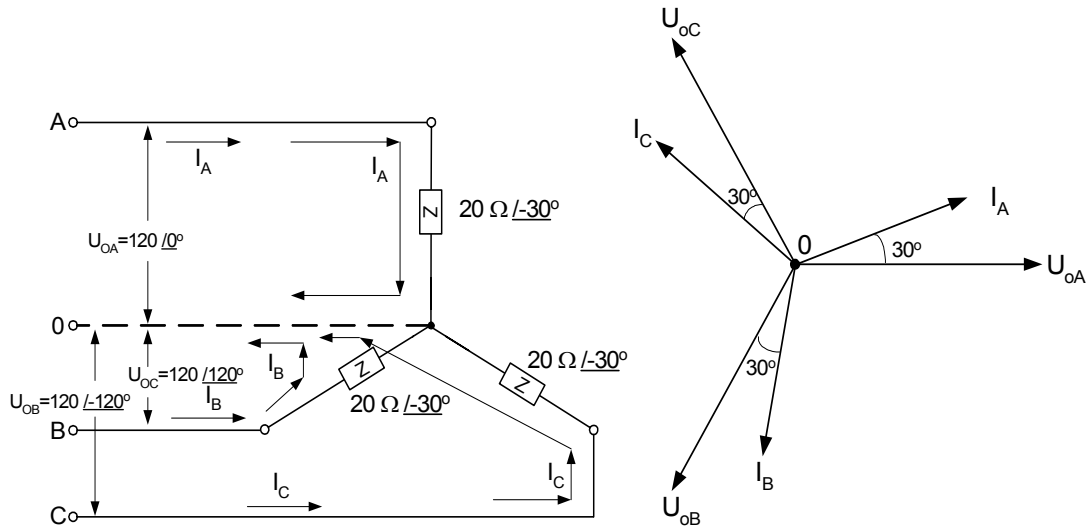
$$\text{Faz akımı, } I_f = \frac{U}{Z} = \frac{110}{5} = 22A$$

Yükün her fazından 22A geçtiğinde şebekeden çekilen hat akımları bir birine eşit ve faz akımının $\sqrt{3}$ katı olacaktır.

$$U = 22 \cdot \sqrt{3} = 38,1A$$

Faz empedanslarının açısı 45° olduğuna göre faz akımları gerilimden 45° geri kalır. 120° faz farklı hat gerilimlerinden 45° şer derece geri kalan faz akımları arasında da 120 şer derece faz farkı olur. Gerilimler ve faz akımları vektör yel olarak gösterildikten sonra çizim yolu ile de I_A , I_B ve I_C hat akımları şekil 9.22 (b) de görüldüğü gibi çizilebilir.

Örnek 9.5: Şekil 9.23 (a) daki dengeli yıldız yükün, (a) şebekeden çektiği akımları ve nötr akımını (b) çekilen gücü bulunuz. (c) vektör diyagramını çiziniz.



Şekil 9.23 Dengeli yıldız yük ve vektör diyagramı

Çözüm 9.5

(a) I_A faz akımı (hat akımı) U_{OA} faz geriliminden (30°) ileride olur. Çünkü, empedansın açısı (-30°) olduğuna göre bu empedans seri R C den meydana gelmiştir. Yükün diğer faz empedansları da aynı olduğu için öteki faz akımları da faz gerilimlerinden 30° ar derece ileride olurlar.

$$I_A = I_B = I_C = \frac{120}{20} = 6A$$

Nötrden geçen akım I_0 , 120° faz farklı I_A , I_B ve I_C akımlarının vektör yel toplamına eşittir. Bu toplamda sıfırdır. $I_0 = 0$

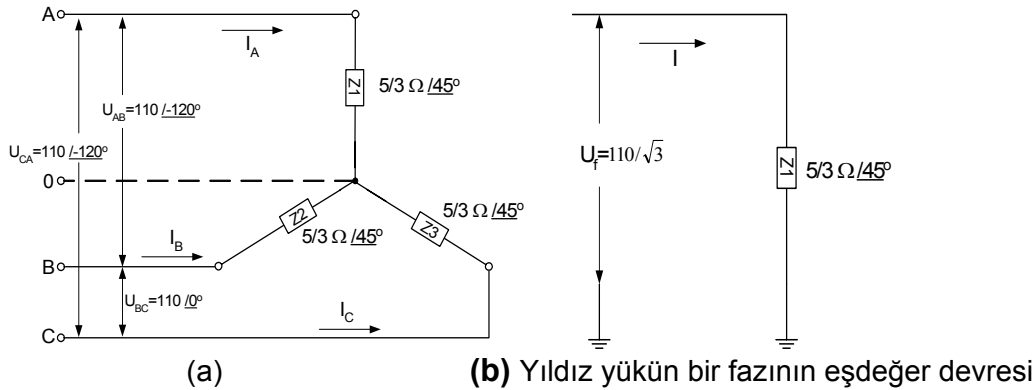
b) $P = 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos\phi = 3 \cdot 120 \cdot 6 \cdot \cos 30^\circ = 1870 \text{ vat}$

c) Vektör diyagramının çizimi: U_{OA} vektörü referans ekseninde alınır. U_{OB} 120° geride, U_{OC} de 120° ileride vektörlerle gösterilir. 6A lik faz akımları da faz gerilimlerinden 30° ileride alınır.

Örnek 9.6 : Şekil 9.22 (a) da ki dengeli üçgen yükün şebekeden çektiği hat akımını üçgen yükü eşdeğer yıldız yüke çevirerek bulunuz.

Çözüm 9.6 : Dengeli üçgen yükün faz empedansı $Z_\Delta = 5\Omega \angle 45^\circ$ olduğuna göre, eşdeğer yıldız yükün faz empedansları $Z_Y = \frac{Z_\Delta}{3} = \frac{5}{3} \angle 45^\circ$ olur. Şekil 9.24 (a) da eşdeğer yıldız yükün şebekeye bağlantısı görülüyor.

Şekil 9.24 (a) da ki Y yükün her fazına uygulanan gerilim fazlar arası gerilimin ($1/\sqrt{3}$) üne eşit olduğuna göre bir fazın eşdeğer devresini şekil 9.24 (b) de ki gibi çizebiliriz. Bu eşdeğer devreden hat akımı kolayca bulunur.



Şekil 9.24 Eşdeğer yıldız yük

$$I = \frac{U_f}{Z} = \frac{\frac{110}{\sqrt{3}}}{\frac{5}{3} \angle 45^\circ} = 38,1 \angle -45^\circ A$$

Her fazın 38,1A lik hat akımları, faz gerilimlerinden 45° geri kalır.

7 . Dengesiz Üç Fazlı Yükler

Üç fazlı A.A şebekesine bağlanan dengesiz yıldız ve üçgen yüklerden geçen faz ve hat akımlarının ve yükün çektiği gücün hesaplanması, vektör diyagramının çizilmesi gibi konuları örnek problemler çözerek açıklayalım.

Örnek 9.7

Üç fazlı üçgen bağlı bir ısıtıcının omik dirençleri $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 40\Omega$ ve $R_3 = 25\Omega$ dur. Fazlar arası 400V olan üç fazlı şebekeye bağlanan yükün çektiği hat akımını ve yükün fazlarından geçen akımları hesaplayınız.

Çözüm 9.7

Şekil 9.25 (a) da yükün şebekeye bağlantısı görülüyor. R_1 direncinden geçen I_1 akımı U_{RS} fazlar arası gerilimi ile aynı fazdadır.

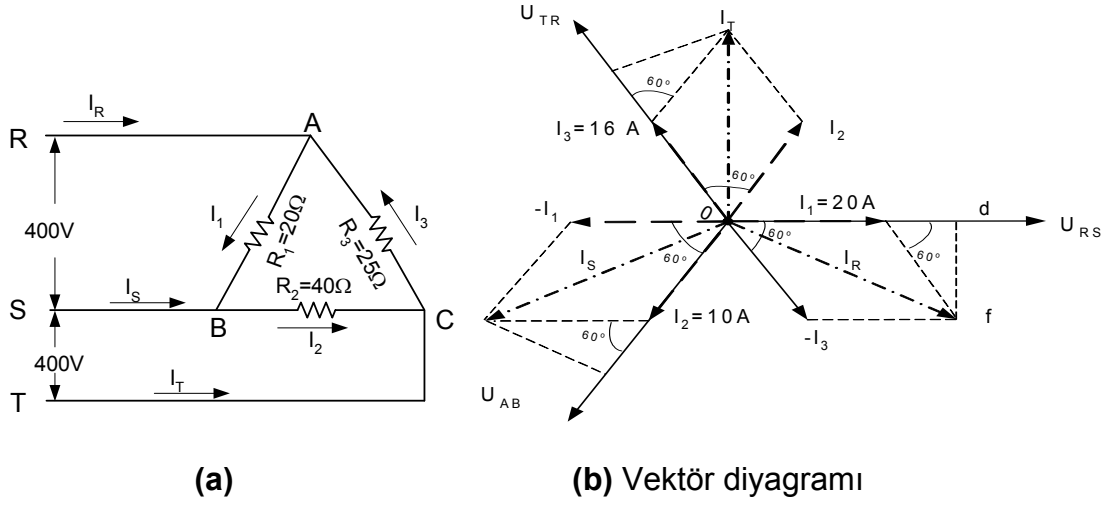
$$I_1 = \frac{400}{20} = 20A$$

R_2 direncinden geçen I_2 akımı U_{ST} fazlar arası gerilimi ile aynı fazdadır.

$$I_2 = \frac{400}{40} = 10A$$

R_3 direncinden geçen I_3 akımı da U_{TR} fazlar arası gerilimi ile aynı fazdadır.

$$I_3 = \frac{400}{25} = 16A$$



Şekil 9.25 Dengesiz üçgen yük

U_{RS} gerilimini referans ekseninde alarak , U_{ST} ve U_{TR} gerilim vektörlerini çizdikten sonra gerilimlerle aynı fazda olan faz akımlarının da vektörlerini çizdiğimizde şekil 9.25 (b) de görülen vektör diyagramı elde edilir.

A,B ve C düğüm noktalarına Kirşofun akım kanununu uygulayarak hat akımlarını bulalım:

$$\begin{aligned} \text{A düğüm noktası} &: I_R = I_1 - I_3 && \text{(vektörel)} \\ \text{B düğüm noktası} &: I_S = I_2 - I_1 && \text{(vektörel)} \\ \text{C düğüm noktası} &: I_T = I_3 - I_2 && \text{(vektörel)} \end{aligned}$$

$I_R = I_1 + (-I_3)$ yazılabilir. I_1 vektörü ile $(-I_3)$ vektörünün toplamı I_R akımını verir. Diğer akımlar içinde aynı işlemler yapılır. Şekil 9.25 (b) deki vektör diyagramında bu vektör yel toplamlar gösterilmiştir.

I_R akımını, odf dik üçgenine Pisagor teoremini uygulayarak bulabiliriz.

$$\begin{aligned} &\sqrt{I_1 + I_3 \cdot \cos 60^\circ)^2 + (I_3 \cdot \sin 60^\circ)^2} \\ &\sqrt{(20 + 16 \cdot 0,5)^2 + (16 \cdot 0,866)^2} = \sqrt{28^2 + 13,85^2} = 31,3A \end{aligned}$$

I_R akımının I_x ve I_y bileşenlerini, I_1 ve $(-I_3)$ vektörlerinin x ve y eksenindeki bileşenlerinden bularak , I_R akımını $I_R = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$ formülü ile de hesaplayabiliriz.

$$I_S = \sqrt{(I_2 + I_1 \cdot \cos 60^\circ)^2 + (I_1 \cdot \sin 60^\circ)^2} = \sqrt{(10 + 20 \cdot 0,5)^2 + (20 \cdot 0,866)^2}$$

$$I_S = \sqrt{20^2 + (17,32)^2} = 26,5 A$$

$$I_T = \sqrt{(I_3 + I_2 \cdot \cos 60^\circ)^2 + (I_2 \cdot \sin 60^\circ)^2} = \sqrt{(16 + 10 \cdot 0,5)^2 + (10 \cdot 0,866)^2}$$

$$I_T = \sqrt{21^2 + 8,66^2} = 22,7 A$$

Örnek 9.8

Şekil 9.26 (a) da görüldüğü gibi yıldız bağlı dengesiz bir yük, fazlar arası gerilimi 380V olan üç fazlı dört hatlı bir şebekeye bağlanmıştır. a) Her fazdan geçen akımı b) nötr hattından geçen akımı c) Yükün çektiği toplam gücü bulunuz.

Çözüm 9.8

a) R_1 direncinden geçen I_A akımı U_{OA} faz gerilimi ile aynı fazdadır.

$$I_A = \frac{220}{10} = 22 A$$

R_2 direncinden geçen I_B faz akımı U_{OB} faz gerilimi ile aynı fazdadır.

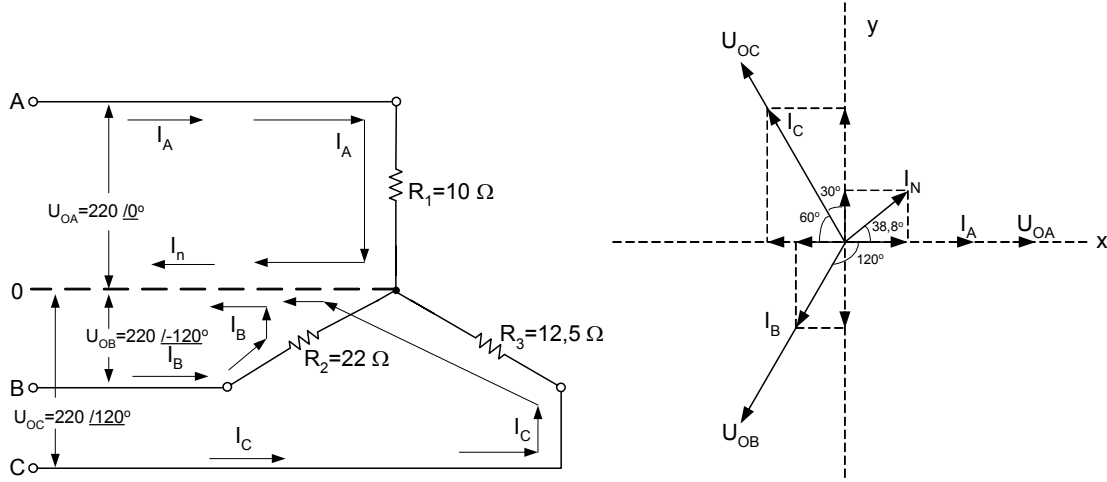
$$I_B = \frac{220}{22} = 10 A$$

R_3 direncinden geçen I_C faz akımı U_{OC} faz gerilimi ile aynı fazdadır.

$$I_C = \frac{220}{12,5} = 17,6 A$$

U_{OA} , U_{OB} ve U_{OC} faz gerilimlerini 120şer derecede faz farklı üç vektörle gösterildikten sonra, I_A , I_B ve I_C akımlarını da vektör yel olarak çizdiğimizde şekil 9.26 (b) de ki vektör diyagramı elde edilir.

b) Nötr hattından geçen akım I_A , I_B ve I_C akımlarının vektör yel toplamına eşittir. Faz akımlarının x ve y eksenlerindeki bileşenlerine ayırılım. Şekil 9.26 (b) Nötr akımının x eksenindeki bileşeni $I_{xn} = I_A - (I_B + I_C) \cos 60^\circ$



Şekil 9.26 Dengesiz yıldız yük ve vektör diyagramı

$$I_{xn} = 22 - 10 \cdot 0,5 - 17,6 \cdot 0,5 = 8,2 \Omega$$

Nötr akımının y eksenindeki bileşeni

$$I_{yn} = I_c \sin 60^\circ - I_B \sin 60^\circ = 17,6 \cdot 0,866 - 10 \cdot 0,866 = 6,59 \Omega$$

$$I_N = \sqrt{(8,2)^2 + (6,59)^2} = 10,5 A$$

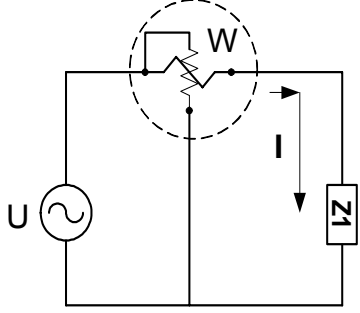
b. Şebekeden çekilen toplam güç, her fazın çektiği güçlerin toplamına eşittir.

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

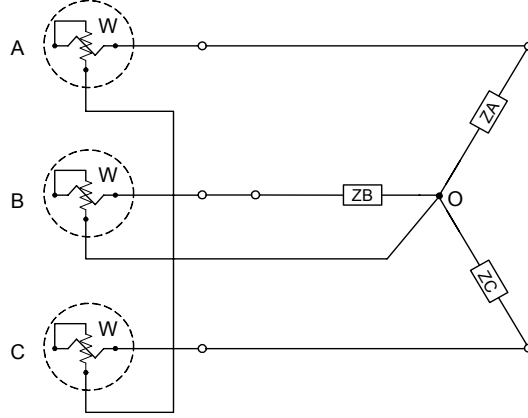
$$P = 220 \cdot 22 + 220 \cdot 10 + 220 \cdot 17,6 = 10912 \text{vat}$$

9.4 GÜÇ ÖLÇMEK

Herhangi bir yükün şebekeden çektiği güç vat metre ile ölçülür. Bir fazlı bir yükün çektiği gücü ölçmek için vat metrenin akım bobini devreye seri, vat metrenin gerilim bobini de devreye paralel olarak şekil 9.27 de görüldüğü gibi bağlanır. Vat metrenin akım bobininden yükün çektiği akım geçtiği, gerilim bobinine de yükün uçlarındaki gerilim uygulandığı için ölçü aletinin ibresi vat olarak yükün çektiği gücü gösterir.



Şekil 9.27 Vatmetre ile güç ölçmek



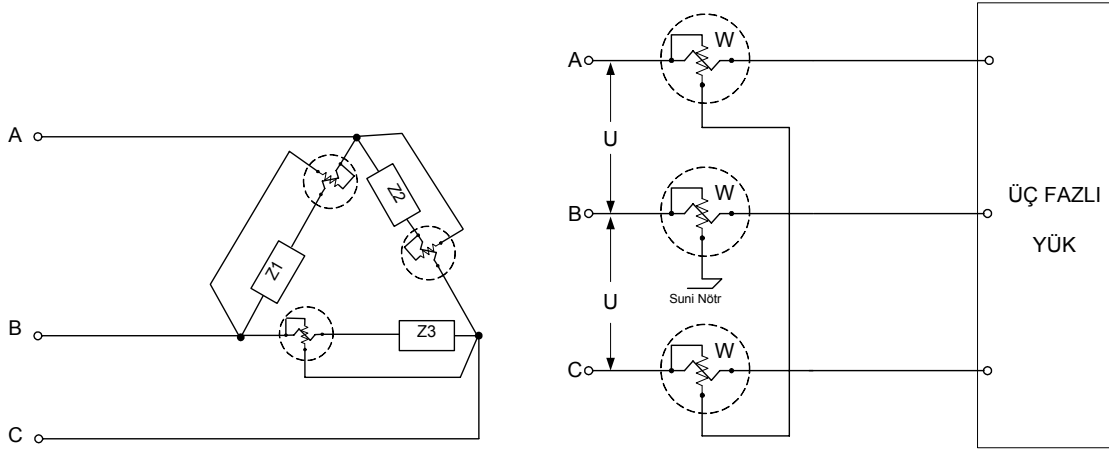
Şekil 9.28a) Yıldız yükün faz güçlerinin ölçülmesi

Üç fazlı yıldız bağlı bir yükün üç fazlı A.A şebekesinden çektiği toplam gücü ölçmek için yükün her fazına şekil 9.28 (a) da görüldüğü gibi birer vatmetre bağlanır.

Üç fazlı üçgen bağlı bir yükün şebekeden çektiği toplam gücü ölçmek için de yükün her fazına şekil 9.28 (b) de görüldüğü gibi birer vat metre bağlanır. Yıldız veya üçgen bağlı yük dengeli ise, vat metrelerin gösterdiği faz güçleri bir birine eşit olur. Şebekeden çekilen toplam güç vat metrelerden birinin gösterdiği değerin (bir fazın gücü) üç katına eşit olur. Yükler dengesiz ise, şebekeden çekilen toplam güç vat metrelerin gösterdiği değerlerin toplamına eşittir.

Dengeli yükün çektiği toplam güç : $P = 3.P_1$

Dengesiz yükün çektiği toplam güç : $P = P_1 + P_2 + P_3$



(b) Üç fazlı yükün çektiği gücün üç vat metre ile ölçülmesi

(a) Üçgen yükün faz güçlerinin ölçülmesi

Şekil 9.28 Üç fazlı yükün gücünü ölçmek

Yıldız yükün sıfır noktası klemens tablosuna (uç bağlantı noktasına), üçgen yükün de faz uçları ayrı ayrı klemens tablosuna çıkarılmamış ise, her fazın gücünü ölçecek şekilde vat metreleri şekil 9.28 de görüldüğü gibi bağlayamayız.

Bu durumda yıldız ve üçgen yüklerin şebekeden çektiği gücü ölçmek için üç tane vat metre şekil 9.28 (c) deki gibi bağlanır. Burada üç tane eş vat metrenin gerilim bobinlerinin birer uçları fazlara gerilim bobinlerinin diğer uçları da bir birine bağlanmıştır. Böylece meydana getirilen suni nötr noktası ile her vat metrenin gerilim bobinine ($U/\sqrt{3}$) gerilimi uygulanmış olur. Vat metre bir tane ise, eşit üç direnci y bağlayıp ABC fazları uygulandığında yıldız noktası suni nötr olur. Vatmetre ile her fazın gücü ölçülebilir.

Yük dengeli olursa, vatmetrelerin akım bobinlerinden geçen hat akımları aynı olacağı için vatmetrelerin gösterdiği değerler de bir birine eşit olur. Vatmetrelerden birinin gösterdiği değerın üç katı şebekeden çekilen toplam gücü verir. Yük dengesiz olursa, vatmetrelerin akım bobinlerinden geçen akımlar farklı olacağı için vatmetrelerin gösterecekleri değerlerde farklı olur. Vatmetrelerden okunan değerlerin toplamı şebekeden çekilen toplam gücü verir.

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

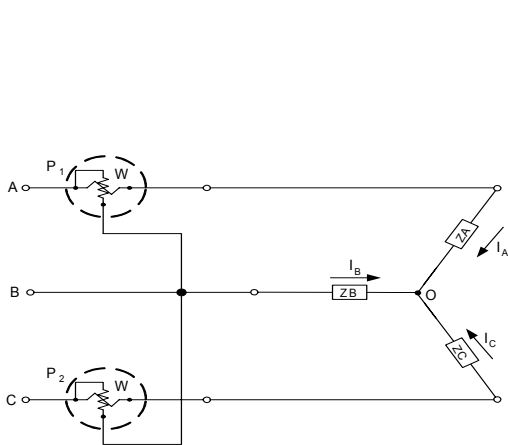
a) İki Vat metre Metodu (Aron Bağlantısı)

Üç fazlı dengeli ve dengesiz yüklerin şebekeden çektiği güçlerin ölçülmesinde en çok kullanılan iki vatmetre metodudur. Bu metodun diğer metotlara üstünlükleri şunlardır:

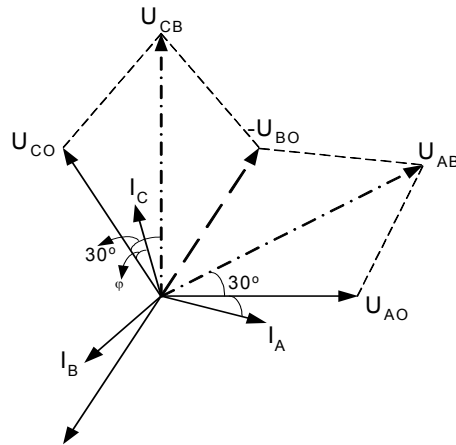
- Yıldız ve üçgen yüklerle aynı bağlantı uygulanır.
- Dengeli ve dengesiz yüklerin çektiği güçleri üç değil iki vatmetre ile ölçmemizi sağlar.
- Dengeli yüklerin güç katsayıları vatmetrelerin gösterdiği değerlerden bulunabilir.

1. Dengeli Yıldız Yük

Dengeli yıldız şebekeden çektiği gücü ölçmek için iki vatmetre şekil 9.29 (a) da görüldüğü gibi bağlanır. Birinci vatmetrenin akım bobininden geçen akım I_A gerilim bobinine uygulanan gerilim de U_{AB} dir. İkinci vatmetrenin akım bobininden geçen akım I_C , gerilim bobinine de U_{CB} fazlar arası gerilimi uygulanmıştır. Vatmetrelerin gösterdiği değerleri bulmak için akımları ve gerilimleri gösteren vektör diyagramını çizmeye çalışalım. Dengeli yıldız yükün geri güç katsayılı olduğunu kabul edelim. Yük dengeli olduğu için U_{AO} , U_{BO} , U_{CO} faz gerilimleri bir birine eşit ($U/\sqrt{3}$) ve 120° şer derece faz farklıdır. 120° faz farklı üç vektörle faz gerilimleri çizildikten sonra her faz akımı faz geriliminden ϕ kadar geride olarak alınır. Birinci vat metreye uygulanan U_{AB} gerilimi U_{AO} ve U_{OB} faz gerilimlerinin vektör yel toplamı alınarak çizilir. İkinci vat metreye uygulanan U_{CB} gerilimi de, U_{CO} ile U_{OB} faz gerilimlerinin vektör yel toplamı alınarak çizildiğinde şekil 9.29 (b) deki vektör diyagramını elde edilir.



(a) İki vat metrenin bağlantısı (Aron Bağlantısı)



(b) Vektör diyagramı

Şekil 9.29 Dengeli yıldız yükün iki vat metre ile gücünün ölçülmesi

Vektör diyagramı incelendiğinde, U_{AB} fazlar arası gerilimi ile U_{AO} faz gerilimi, U_{CB} fazlar arası gerilimi ile U_{CO} faz gerilimi arasında 30° 'ar derecelik faz farkı olduğu görülür. Birinci vat metreye uygulanan U_{AB} gerilimi ile I_A akımı arasındaki faz farkı $(30+\varphi)$, ikinci vat metreye uygulanan U_{CB} gerilimi ile I_C akımı arasındaki faz farkı da $(30-\varphi)$ dir.

$$P_1 = U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos(30+\varphi)$$

İkinci vat metrenin gösterdiği değer;

$$P_2 = U_{CB} \cdot I_C \cdot \cos(30-\varphi)$$

Güç formülündeki U_{AB} ve U_{CB} mutlak değeri yerine U ve I_A ile I_C mutlak değerleri yerinede I yazalım.

Birinci vat metrenin gösterdiği değer;

$$P_1 = U \cdot I \cdot \cos(30+\varphi)$$

$$P_2 = U \cdot I \cdot \cos(30-\varphi)$$

Vat metrelerin gösterdiği değerleri toplayalım.

$$P_1 + P_2 = U \cdot I \cdot (\cos (30+\varphi) + \cos (30-\varphi))$$

İki açı toplamının ve farkının kosinüsü,

$$\cos (\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \pm \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

Formülü ile hesaplanır. Güç ifadesindeki kosinüsleri bu formüle göre açalım.

$$P_1 + P_2 = UI \cdot (\cos 30^\circ \cdot \cos \varphi - \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi + \cos 30^\circ \cos \varphi + \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi)$$

$$P_1 + P_2 = U \cdot I \cdot 2 \cos 30^\circ \cdot \cos \varphi$$

Bulunur. $2 \cos 30^\circ = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}$ yerine alınırsa

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Bulunur. Bu formül dengeli üç fazlı sistemde toplam gücü veren formüldür. Şu halde, iki vat metrenin gösterdiği değerlerin toplamı bize, üç fazlı dengeli yükün şebekeden çektiği gücü verir.

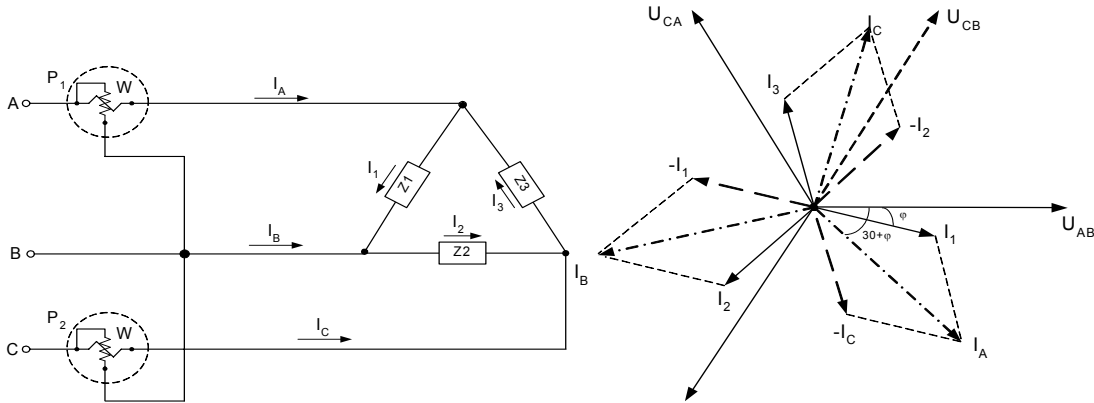
2. Dengeli Üçgen Yük

Şekil 9.30 (a) da dengeli üçgen yüke iki wattmetre'nin bağlantısı görülüyor. Şekil 9.29 (a)'daki yıldız yüke wattmetrelerin bağlantısı ile karşılaştırıldığında wattmetre bağlantılarında bir fark olmadığı görülür. Birinci wattmetrenin gerilim bobinine U_{ab} gerilimi uygulanmış ve akım bobininden I_a hat akımı

geçmektedir. İkinci wattmetrenin akım bobininden I_c hat akımı geçmekte ve gerilim bobinine de U_{cb} gerilimi uygulanmıştır.

Vektör diyagramının çiziminde şu yol takip edilir

U_{ab} fazlar arası gerilimi referans eksenini (x eksenini) üzerinde alınır. U_{ab} 'den 120 derece geride U_{bc} ve U_{ab} 'den 120 derece ileride U_{ca} vektörleri çizilir. Dengeli üçgen yükün güç katsayısı $\cos\varphi$ olarak kabul edelim. Bu durumda yükün I_1 , I_2 ve I_3 faz akımları faz gerilimlerinden φ açısı kadar geri kalırlar. U_{ab} 'den φ kadar geride I_1 akım vektörü, U_{bc} 'den φ kadar geride (I_2) vektörü, U_{ca} 'dan φ kadar geride I_3 vektörü çizilir. A ve C düğüm noktalarına kirsdchoff'un akım kanununu uygulayarak I_a ve I_c hat akımları bulunabilir. I_a akımı, I_1 ve $(-I_3)$ vektörlerini toplayarak; I_c akımı da I_3 ve $(-I_2)$ vektörlerini toplayarak bulabiliriz. U_{cb} gerilim vektörü U_{bc} 'nin tersi olarak alındığında Şekil 9.30 (b)'deki vektör diyagramı elde edilir. Vektör diyagramı incelendiğinde I_1 ile I_a arasındaki açı 30 derece, I_a ile U_{ab} arasındaki açının da $(30 + \varphi)$ olduğu görülür. I_c ile $(-I_2)$ arasındaki açı 30 derece, U_{cb} gerilimi ile I_c arasındaki açı da $(30 - \varphi)$ derecedir. Yük dengeli olduğu için I_a , I_b ve I_c hat akımları birbirine eşit ve 120'şer derece faz farklıdır.



Şekil 9.30

Birinci wattmetreden okunan güç, $P_1 = U.I.\cos(30+\varphi)$

İkinci wattmetreden okunan güç $P_2 = U.I.\cos(30 - \varphi)$

Bu iki güç toplanır ve gerekli trigonometrik işlemler yapılırsa formül elde edilir.

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} U.I.\cos\varphi$$

3.Dengesiz Yıldız ve Üçgen Yükler :

İki vat metrenin gösterdiği değerlerin cebirsel toplamını dengesiz yıldız ve üçgen yüklerin şebekeden çektiği toplam güce eşit olduğunu ispatlayalım.

Şekil 9.29 (a)'daki yıldız yükün dengesiz olduğunu kabul edelim. Herhangi bir anda yükün şebekeden çektiği güç, fazların ani güçlerinin toplamına eşittir

$$P = U_{AO} \cdot I_A + U_{BO} \cdot I_B + U_{CO} \cdot I_C$$

Kirschhoff'un akım kanununa göre herhangi bir anda O noktasına gelen akımların geometrik toplamı 0'dır.

$$I_A + I_B + I_C = 0$$
$$I_B = -(I_A + I_C)$$

Akımları güç ifadesindeki yerine yazalım.

$$P = U_{AO} \cdot I_A - U_{BO} \cdot (I_A + I_C) + U_{CO} \cdot I_C$$
$$P = (U_{AO} - U_{BO}) \cdot I_A + (U_{CO} - U_{BO}) \cdot I_C$$

bulunur. Elde edilen güç ifadesinde birinci terimi birinci vat metrenin, ikinci terimi de ikinci vat metrenin gösterdiği değerlerdir .

$$(U_{AO} - U_{BO}) \cdot I_A = P_1$$
$$(U_{CO} - U_{BO}) \cdot I_C = P_2$$

Şu halde, şebekeden çekilen gücün ani değeri vat metrelerin gösterdikleri ani güçlerin toplamına eşittir.

Şekil 2.30(a)'daki üçgen yükün dengesiz olduğunu kabul edelim. Yükün şebekeden çekeceği herhangi bir andaki güç, her fazın çektiği ani güçlerin toplamına eşittir.

$$P = U_{AB} \cdot I_1 + U_{BC} \cdot I_2 + U_{CA} \cdot I_3$$

Kirschhoffun gerilim kanununa göre kapalı üçgen bir devrede gerilim düşümlerinin geometrik toplamı 0'dır.

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = 0$$

Gerilim denklemindeki eşitlikten U_{CA} yı bulup güç eşitliğinde yerine yazalım.

$$\begin{aligned}U_{CA} &= -(U_{AB} + U_{BC}) \\P &= U_{AB} \cdot I_1 + U_{BC} \cdot I_2 - (U_{AB} + U_{BC}) \cdot I_3 \\P &= (I_1 - I_3) \cdot U_{AB} + (I_2 - I_3) \cdot U_{BC}\end{aligned}$$

$U_{BC} = -U_{CB}$ ifadesini yerine koyalım

$$P = (I_1 - I_3) \cdot U_{AB} + (I_3 - I_2) \cdot U_{CB} \text{ bulunur.}$$

İfadenin birinci terimi birinci vat metrenin, ikinci terimi de ikinci vat metrenin gösterdiği değerlerdir.

Şu halde, herhangi bir dengeli veya dengesiz yükün şebekeden çektiği toplam güç, iki vat metrenin gösterdiği değerlerin cebirsel toplamına eşittir.

Üç fazlı dört hatlı şebekelerde iki vat metre ile dengesiz yüklerin güçleri ölçülemez. Vat metrelerin bağlı olmadığı faza, yeni yükler ilave edildiğinde birinci ve ikinci vat metrelerden geçen akımlar ve vat metrelerin gerilim bobinlerine uygulanan şebeke gerilimi sabit kaldığı için, vat metrelerin gösterecekleri değerler değişmez. Dolayısı ile, fazın birine yeni yükler ilave edildiği halde, vat metrelerin gösterdiği toplam güç sabit kalmıştır.

4. Güç Katsayısını Vatmetrelere Etkisi

Dengeli üç fazlı yüklerde iki vat metre ile yapılan Aron bağlantısında (şekil 9.29 (a) ve şekil 9.30 (a)) vat metrelerin gösterdiği değerlere veren formülleri yeniden yazalım.

$$P_1 = U \cdot I \cdot \cos(30+\varphi) \quad P_2 = U \cdot I \cdot \cos(30-\varphi)$$

Çeşitli güç katsayıları olan yüklerde vat metrelerin göstereceği değerleri inceleyelim.

- a) **Cos $\varphi = 1$ olan yük** : Güç katsayısı bir olan dengeli bir yükte birinci ve ikinci vatmetrelerin gösterdiği değerler bir birine eşittir.

$$P_1 = P_2 = U \cdot I \cdot \cos 30^\circ \quad P_1 = P_2 = (\sqrt{3}/2) U \cdot I$$

bulunur.

Vat metrelerin her biri toplam gücün yarısını gösterir.

- b) $\text{Cos } \varphi = 0,866$ ileri ve geri olan yük :** Güç katsayısı 0,866 ileri olunca $\varphi = 30^\circ$ olur. Güç formüllerine $\varphi = 30^\circ$ yazalım.

$$P_1 = U \cdot I \text{ Cos}(30^\circ + 30^\circ) = U \cdot I \text{ Cos}60 = U \cdot I / 2$$

$$P_2 = U \cdot I \text{ Cos}(30^\circ - 30^\circ) = U \cdot I \text{ Cos } 0^\circ = U \cdot I \quad \text{bulunur.}$$

Birinci vat metre toplam gücün (1/3) ünü, ikinci vat metre ise toplam gücün (2/3) ünü gösterir.

Güç katsayısı 0,866 geri olursa, $\varphi = -30^\circ$ olur. Birinci vat metreden $P_1 = U \cdot I \text{ Cos}0^\circ = U \cdot I$ değeri, ikinci vat metreden de $P_2 = U \cdot I \text{ Cos}60^\circ = (1/2)U \cdot I$ değeri okunur.

- c) $\text{Cos } \varphi = 0,5$ geri olan yük :** $\text{Cos } \varphi = 0,5$, $\varphi = -60^\circ$ olur. Vat metrelerin gösterdikleri değerler.

$$P_1 = U \cdot I \text{ Cos}(30^\circ - 60^\circ) = U \cdot I \text{ Cos}(-30^\circ) = (\sqrt{3}/2) U \cdot I$$

$$P_2 = U \cdot I \text{ Cos}(30^\circ + 60^\circ) = U \cdot I \text{ Cos } 90^\circ = 0 \quad \text{bulunur.}$$

İkinci vatmetre 0 değerini gösterirken birinci vat metre yükün çektiği toplam gücü gösterir

- d) $\text{Cos } \varphi < 0,5$ olan yük :** Yükün güç katsayısı 0,5 den küçük olursa, φ açısı 60° den büyük olacağı için güç ifadesindeki $\text{Cos}(30 + \varphi)$ değeri 90° den büyük olur

90° den büyük açılarının kosinüsü negatif olduğu için vatmetrelerden birinin gösterdiği değer negatiftir. Bu, vat metrelerden birinin ters sapması demektir. Birinci veya ikinci vat metrelerden hangisinin ters sapacağı güç katsayısının ileri veya geri (yani φ açısının + veya -) oluşuna göre değişir.

Yükün çektiği toplam gücü bulmak için ters sapan vat metrenin gerilim bobininin uçları değiştirilir. Ve vat metrenin gösterdiği değer okunur. Diğer vat metrenin gösterdiği değerden ters sapan vat metreden okunan değer çıkarılarak toplam güç bulunur.

5. İki Vatmetre İle Güç Katsayısını Ölçmek

Dengeli üç fazlı yüklerde vat metrelerin gösterdiği P_1 ve P_2 değerlerinden yüklerin katsayıları bulunabilir. Vat metrelerin gösterdiği değerler,

$$P_1 = U \cdot I \cdot \text{Cos}(30^\circ + \varphi)$$

$$P_2 = U \cdot I \cdot \text{Cos}(30^\circ - \varphi) \quad \text{bu iki değer farkı ;}$$

$$P_2 - P_1 = U \cdot I \cdot \text{Cos}(30^\circ - \varphi) - U \cdot I \cdot \text{Cos}(30^\circ + \varphi)$$

Gerekli trigonometrik işlemlerle sadeleştirelim .

$$P_2 - P_1 = U \cdot I (\cos 30^\circ \cdot \cos \varphi + \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi - \cos 30^\circ \cdot \cos \varphi + \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi)$$
$$P_2 - P_1 = U \cdot I \cdot 2 \sin 30^\circ \cdot \sin \varphi$$

$\sin 30^\circ = 1/2$ değerini yerine yazalım.

$P_2 - P_1 = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ bulunur. Vat metrelerin gösterdiği değerlerin toplamını daha önce bulmuştuk.

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Vat metrelerden okunan değerlerin farkını toplamına bölelim.

$$\frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1} = \frac{\sin \varphi}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi}$$
$$\frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \tan \varphi$$
$$\tan \varphi = \sqrt{3} \cdot \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1}$$

$\tan \varphi$ hesaplandıktan sonra trigonometrik cetvellerden φ ve $\cos \varphi$ bulunur.

Örnek 9.9

Üçgen yük 200V üç fazlı bir şebekeye bağlanmıştır. Yükün birinci fazında 10Ω luk direnç, ikinci fazında 8Ω luk endüktans ve üçüncü fazında 7Ω luk bir kapasitans vardır. Yükün çektiği toplam gücü iki vat metre metodu ile ölçmek için gerekli bağlantı yapılmıştır. (şekil 9.31) a) Yükün şebekeden çektiği faz ve hat akımlarını, b) A ve C faz hatlarına bağlı olan vat metrelerin gösterdikleri değerleri hesaplayınız.

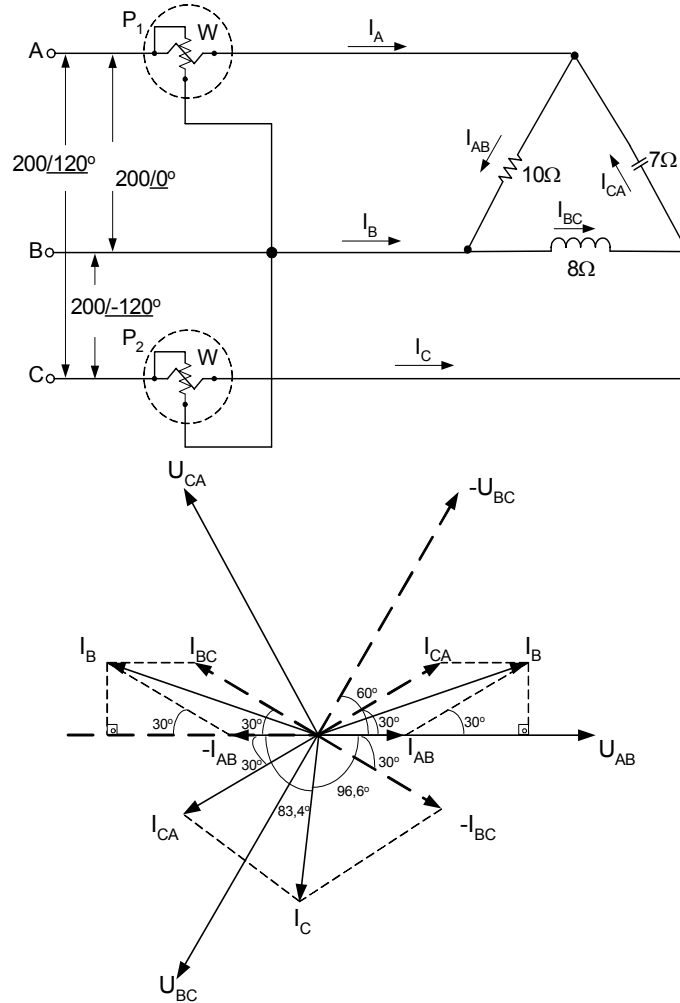
Çözüm 9.9

Her fazdan geçen akım ve faz gerilimleri ile faz akımları arasındaki açılı bulalım.

$$\text{a) } I_{AB} = \frac{200}{10} = 20A, \quad U_{AB} \text{ ile aynı fazda}$$
$$I_{BC} = \frac{200}{8} = 25A, \quad U_{BC} \text{ den } 90^\circ \text{ geride}$$

$$I_{CA} = \frac{200}{7} = 28,57, \quad U_{CA} \text{ dan } 90^\circ \text{ ileride}$$

Şekil 9.31 (b) deki vektör diyagramında 120° faz farklı U_{AB} , U_{BC} ve U_{CA} faz gerilimleri çizildikten sonra faz akımları açılarına göre çizilmiştir.



Şekil 9.31 Dengesiz üçgen yük, akım ve gerilim vektör diyagramı

A, B ve C noktalarına Kirşofun akım kanununu uygulayarak hat akımlarını hesaplayalım.

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} \quad , \quad I_B = I_{BC} - I_{AB} \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

Bu vektörel toplamları vektör diyagramı üzerinde yapalım.

$$I_A = \sqrt{(20 + 28,5 \cdot \cos 30^\circ)^2 + (28,5 \cdot \sin 30^\circ)^2} = 46,97 A$$

$$I_B = \sqrt{(20 + 25 \cdot \cos 30^\circ)^2 + (25 \cdot \sin 30^\circ)^2} = 43,46 A$$

$$I_C = \sqrt{(28,5 \cdot \cos 30^\circ - 25 \cdot \cos 30^\circ)^2 + (28,5 \cdot \sin 30^\circ + 25 \cdot \sin 30^\circ)^2} = 26,96 A$$

b) Birinci vat metrenin gösterdiği değer,

$$U_{AB} \text{ ile } I_A \text{ arasındaki açı, } \operatorname{tg} \varphi_1 = 14,25/43,7 = 0,32 \quad \varphi_1 = 17,7^\circ$$

$$P_1 = U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos \varphi_1 = 200 \cdot 46,97 \cdot \cos 17,7^\circ = 8949 \text{ watt}$$

İkinci vat metrenin gösterdiği değer ,

$$U_{CB} = -U_{BC} = -200 \angle -120^\circ = 200 \angle 60^\circ \quad \operatorname{arctg} \frac{26,7}{3} = 83,4^\circ$$

$$I_C = 26,9 \angle -96,6^\circ$$

U_{CB} ile I_C arasındaki $\varphi_2 = 60^\circ + 96,6^\circ = 156,6^\circ$

$$P_2 = 200 \times 26,96 \cdot \cos 156,6^\circ = 200 \cdot 26,96 \cdot (-0,918) = -4949 \text{ vat}$$

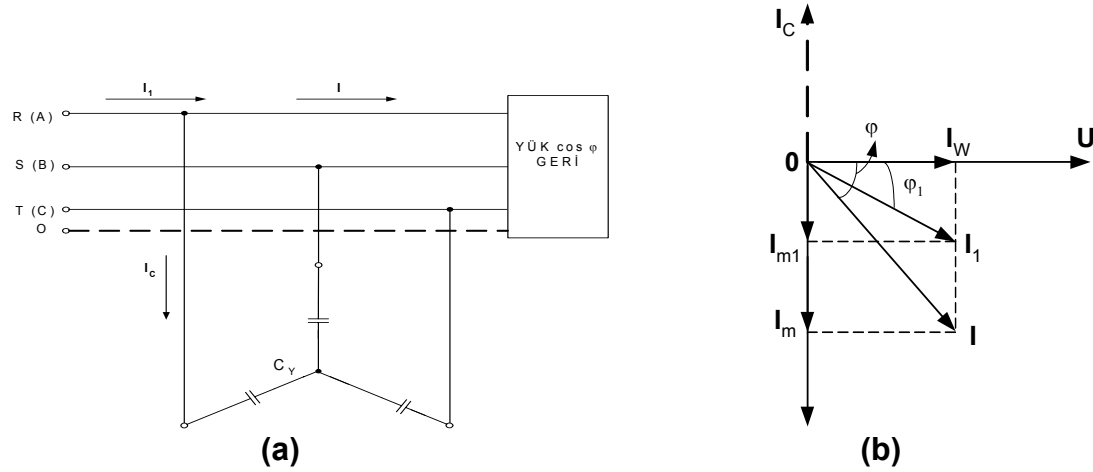
Yükün çektiği toplam güç , $P = 8949 - 4949 = 4000 \text{ vat}$.

Üçgen yükteki şelfin ve kondansatörün çektiği güçler sıfırdır. O halde şebekeden çekilen güç 10Ω luk dirençte ısı şeklinde sarf olur.

$$P = R \cdot I_{AB}^2 = 10 \cdot (20)^2 = 10 \cdot 400 = 4000 \text{ vat}$$

Şu halde, yukarıda vat metrelerin gösterdiği değerlerle bulduğumuz güç doğrudur.

9.5 ÜÇ FAZLI SİSTEMDE GÜÇ KATSAYISININ DÜZELTİLMESİ



Şekil 9.32 Güç katsayısının Y bağlı kondansatörle düzeltilmesi

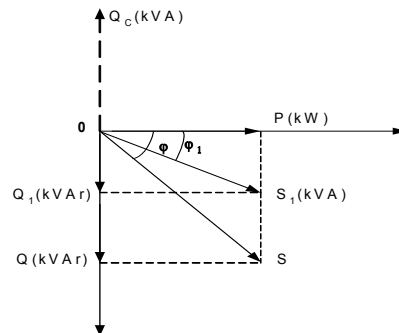
Güç katsayısı çok küçük olan üç fazlı dengeli bir yükün güç katsayısını, şekil 9.32(a) da görüldüğü gibi, kondansatör bağlayarak düzeltmek istiyoruz. Yükün güç katsayısı $\cos\phi$ geri ve çektiği hat akımı da I dır. Şekil 9.32 (b) deki vektör diyagramında görüldüğü gibi I akımı faz geriliminden ϕ kadar geridedir. I akımı gerilimle aynı fazda olan I_W (vatlı akım veya reel akım) ve gerilime 90° dik. I_m (mıknatıslama akımı) bileşenlerine ayrılır. Sistemin güç katsayısını $\cos\phi_1$ e yükseltebilmek için devreye bağlanan kondansatörün çekeceği akım $I_C = I_m - I_{m1}$ olmalıdır.

Yükün şebekeden çektiği,

Görünür güç (zahiri güç) , $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot 10^{-3} \text{ kVA}$

Hakiki güç (aktif güç) , $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi \cdot 10^{-3} \text{ kW}$

Reaktif güç (kör güç) , $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \cdot \phi \cdot 10^{-3} \text{ kVAr}$



Şekil 9.33 Görünür, aktif ve reaktif güçler vektör diyagramı

Şekil 9.33 de güçler vektör diyagramı çizilmiştir. Hakiki güç referans (x eksen) ekseninde, reaktif güç y ekseninde alındıktan sonra bu iki değer vektörel toplamı alınarak görünür güç bulunur.

Yükün katsayısı $\cos \varphi_1$ e yükseldiğinde şebekeden çektiği hakiki güç aynı kalır. Şebekeden çekilen reaktif güç Q_1 değerine düşer. Devreye bağlanan kondansatörlerin vereceği Q_c reaktif gücü, yüke lazım olan Q reaktif gücün bir kısmını karşıladığı için şebekeden çekilen reaktif güçte azalma olur. Dolayısıyla güç katsayısı da büyür.

Yükün katsayısı $\cos \varphi$ den $\cos \varphi_1$ e çıkarmak için gerekli olan Q_c reaktif gücü ($Q-Q_1$) dir.

$$Q_c = Q - Q_1$$

Yıldız bağlı kondansatörün şebekeden çektiği hat veya faz akımı I_c , fazlar arası gerilim U olduğuna göre kondansatörlerin verdiği toplam reaktif gücü bulalım.

$$Q_c = 3 \cdot U_f \cdot I_c = 3 \cdot \left(\frac{U}{\sqrt{3}}\right) \cdot I_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_c$$

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

Yıldız bağlı kondansatör grubunun bir fazından geçen akım,

$$I_c = \frac{U_f}{X_c} = \frac{\frac{U}{\sqrt{3}}}{\frac{1}{\omega C_y}} \quad , \quad I_c = \frac{3}{\sqrt{3}} \omega C_y \text{ bulunur.}$$

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot \left(\frac{U}{\sqrt{3}}\right) \omega C_y \quad , \quad Q_c = U^2 \cdot \omega \cdot C_y$$

Yıldız bağlı kondansatör grubunun bir fazındaki kondansatörlerin kapasitesi yukarıdaki formülden bulunur.

$$C_y = \frac{Q_c}{U^2 \omega} \quad C_y = \text{farad} \quad , \quad Q_c = \text{reaktif güç, VAr (volt amper reaktif)}$$

$$\omega = \text{açısal hız} \quad , \quad 2\pi f \quad ; \quad U = \text{fazlar arası (hat) gerilimi, volt}$$

Kondansatör grubunun verdiği güç kvar (kVAr) ile ifade edersek, mirofarad olarak her fazın kapasitesi,

$$Q_y = \frac{Q_c \cdot 10^9}{U^2 \omega} \mu f \text{ formülü ile hesaplanır.}$$

Şekil 9.32 de yükün güç katsayısını düzeltmede kullanılan kondansatörler yıldız bağlıdır. Kondansatörler üçgen bağlı olduklarına göre, Şekil 9.34 de ki gibi, kondansatör grubunun bir fazının kapasitesini veren formülü çıkartalım. VA olarak kondansatör grubunun gücü,

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_c$$

$$\text{Hat akımı } I_c = \left(\frac{U}{X_c} \right) \sqrt{3}$$

$$I_c = \sqrt{3} \cdot U \cdot \Omega C$$

yazalım.

I_c nin bu değerini (61) de yerine

$$Q_c = 3 \cdot U^2 \cdot \omega C \Delta$$

$$\text{Bir fazının kapasitesi } C \Delta = \frac{Q_c}{3U^2 \omega}$$

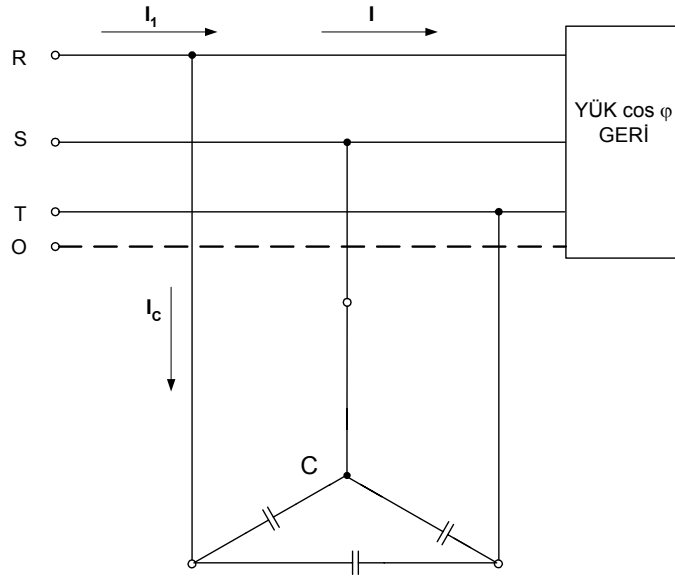
$C \Delta$ = farad, Q_c = VA (volt amper), U = fazlar arası gerilim, volt ω = açısal hız, radyan/saniye,

Kapasiteyi mikroyarad ve Q_c yi de (kva) olarak ifade edelim.

$$C \Delta = \frac{Q_c \cdot 10^9}{3U^2 \omega} \mu f$$

$C_y = \frac{Q_c}{U^2 \omega}$ formülü $C \Delta = \frac{Q_c \cdot 10^9}{3U^2 \omega} \mu f$ ile karşılaştırılırsa, toplam güçleri aynı olan kondansatörlerin yıldızdaki bir fazının kapasitesinin üçgen bağlamadaki faz kapasitesinin 3 katı olduğu görülür.

$$C_y = 3 C \Delta$$



Şekil 9.34 Üçgen bağlı kondansatörlerle güç katsayısının düzeltilmesi

Bir fabrikanın şebekeden çektiği hakiki güç P kilovat ve güç katsayısı $\cos\phi$ geridir. Fabrikanın güç katsayısını $\cos\phi_1$ e yükseltmek istiyoruz. Fabrikaya monte edeceğimiz yıldız veya üçgen bağlı kondansatör gurubunun kapasitesini hesaplamaya çalışalım.

Şekil 9.33 deki güçler vektör diyagramındaki Q, Q_1 reaktif güçlerini P (kw), ϕ ve ϕ_1 bilinenleri yardımı ile bulalım.

$Q = P \cdot \tan\phi$, $Q_1 = P \cdot \tan\phi_1$ gerekli olan kondansatör gurubunun gücü; $Q_c = Q - Q_1$, $Q_c = P (\tan\phi - \tan\phi_1)$

Yıldız bağlı kondansatör gurubunun bir fazının kapasitesini (C_y) bulmak için Q_c yerine yazalım.

$$C_y = \frac{P \cdot 10^9}{U^2 \cdot \omega} \cdot (\tan\phi - \tan\phi_1)$$

C_y = Bir fazının kapasitesi, (mikrofarad)

P = Fabrikanın veya her hangi bir yükün hakiki gücü, kw (kilovat)

U = Üç fazlı şebekenin fazlar arası gerilimi (hat gerilimi), volt

$\omega = 2 \pi f$, A.A. in açısal hızı, radyan/saniye

ϕ = Fabrikanın düşük olan güç katsayısının açısı, derece

ϕ_1 = Sistemin düzelttiği güç katsayısının açısı, derece

Üçgen bağlı kondansatör gurubunun bir fazının kapasitesini $C\Delta$ bulmak için Q_c yerine ifadeyi yazalım.

$$C\Delta = \frac{P \cdot 10^9}{3 \cdot U^2 \omega} \cdot (tg\varphi - tg\varphi_1)$$

Örnek 9.11

1000 kw, $\cos \varphi = 0,6$ geri olan bir fabrika 380/220 volt, 50 Hz li üç fazlı bir şebekeden besleniyor. Fabrikanın güç katsayısını $\cos \varphi_1 = 0,9$ 'a çıkartmak için kondansatör kullanmak istiyoruz. a) Fabrikadaki şebeke girişine bağlayacağımız kondansatör gurubunun kva olarak gücünü, b) Kondansatör gurubu (Y) bağlı olduğuna göre bir fazının kapasitesini $C_y = ?$, c) Kondansatörler üçgen bağlandığında bir fazın kapasitesini $C\Delta = ?$ hesaplayınız.

Çözüm 9.11

a) $P = 1000 \text{ kw}$, $\cos \varphi = 0,6$ $\cos \varphi_1 = 0,9$ un trigonometri cetvelinden açılarını ve tangentlerini bulalım.

$$\varphi = 53^\circ \quad ; \quad tg 53^\circ = 1,33 \quad ; \quad \varphi_1 = 26^\circ \quad ; \quad tg 26^\circ = 0,488$$

$$Q_c = P (tg\varphi - tg\varphi_1) = 1000 (1,33 - 0,488) = 832 \text{ kva}$$

$$b) C_y = \frac{Q_c \cdot 10^9}{U^2 \cdot \omega} = \frac{842 \cdot 10^9}{380^2 \cdot 2 \pi \cdot 50} = 18500 \mu f$$

$$c) C\Delta = \frac{Q_c \cdot 10^9}{3 \cdot U^2 \cdot \omega} = \frac{842 \cdot 10^9}{3 \cdot 380^2 \cdot 2 \pi \cdot 50} = 6166,6 \mu f$$

$$C\Delta = \frac{C_y}{3} = \frac{18500}{3} = 6166,6 \mu f$$

9.6 KARIŞIK ÖRNEK PROBLEMLER

Örnek 9.12

Üç fazlı bir alternatörün faz gerilimi 231 V ve faz akımı 38 A dir. Hat gerilimi ve hat akımını alternatör a) üçgen b) yıldız bağlandığına göre hesaplayınız.

Çözüm 9.12 :

$$\Delta \text{ bağlantı : } U = U_f = 231 \text{ V}$$
$$I = \sqrt{3} \cdot I_f = 1,73 \cdot 38 = 65,8 \text{ A}$$

$$Y \text{ bağlantı : } U = \sqrt{3} \cdot U_f = 1,73 \cdot 231 = 400 \text{ V}$$
$$I = I_f = 38 \text{ A}$$

Örnek 9.13

3 fazlı bir elektrikli ısıtıcının her fazının direnci $12,5\Omega$ dur. 380 V luk hat geriliminde ısıtıcı a) Yıldız b) üçgen bağlandığına göre faz gerilimini, faz ile hat akımlarını ve güçlerini hesaplayınız.

Çözüm

Y bağlantı

$$U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V} \qquad I_f = \frac{U_f}{R} = \frac{220}{12,5} = 17,6 \text{ A}$$

$$I = I_f = 17,6 \text{ A}$$

$$P_y = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 380 \cdot 17,6 = 11600 \text{ vat}$$

Δ bağlantı

$$U_f = U = 380 \text{ V}$$
$$I_f = \frac{U_f}{R} = \frac{380}{12,5} = 30,4 \text{ A} \qquad I = \sqrt{3} \cdot I_f = 1,73 \cdot 30,4 = 52,7 \text{ A}$$

$$P_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 380 \cdot 52,7 = 348000 \text{ vat}$$

Örnek 9.14

Örnek 9.13 deki üç fazlı ısıtıcının beslenmesinde şekil 9.35 deki gibi hattın biri kesildiği zaman hat akımları ve güçler ne olur?

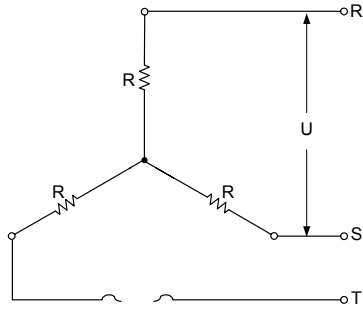
Çözüm

Y bağlantı

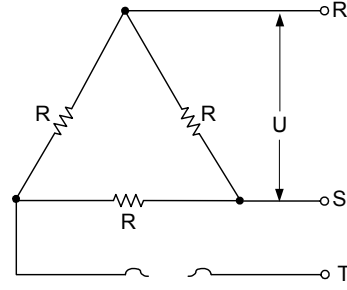
$$R_e = 2 R = 2 \cdot 12,5 = 25\Omega$$

$$I_1 = \frac{U}{R_e} = \frac{380}{25} = 15,2 \text{ A}$$

$$P_{1y} = U \cdot I_1 = 380 \cdot 15,2 = 5776 \text{ vat}$$



a) Y bağlantı



b) Üçgen bağlantı

Şekil 9.35

Δ bağlantı :

$$R_e = \frac{R.(R + R)}{R + R + R} = \frac{25.12,5}{12,5 + 12,5 + 12,5} = 8,33\Omega$$

$$I_1 = \frac{U}{R_e} = \frac{380}{8,33} = 45,6A$$

$$P_{1\Delta} = U \cdot I_1 = 380.45,6 = 17328 \text{ vat}$$

Örnek 9.15

223 V 3 fazlı bir şebekeden üçgen bağlı bir ısıtıcının çektiği hat akımı 15,4 A olduğuna göre faz dirençlerini ve gücünü hesaplayınız.

Çözüm 9.15

$$R_f = \frac{U}{I} = \frac{223}{15,4} = 25,1\Omega$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 223 \cdot 15,4 = 5950 \text{ vat}$$

Örnek 9.16

127/220 V, üç fazlı bir şebekeye üçgen bağlı olan bir su ısıtma cihazının hat akımı 14,7 A dır. a) ısıtıcının faz direncini ve gücünü b) hat gerilimi 380 V olan üç fazlı şebekeye bu ısıtıcı nasıl bağlanır? Hat akımı ne olur? c) (b) deki

bağlantı hattının biri kesilince akım ve güç ne olur? d) (c) durumundaki güç normal gücün yüzde kaçırır?

Çözüm 9.16

$$\text{a) } I_f = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{14,7}{1,73} = 8,48A \quad U_f = U = 220 V$$
$$R = \frac{U}{I_f} = \frac{220}{8,48} = 25,9\Omega \quad P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot 220 \cdot 14,7 = 5600 W$$

b) 380 V luk şebekeye ısıtıcı yıldız bağlanırsa normal çalışır. Çünkü faz gerilimi yine 220 voltur.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{5600}{1,73 \cdot 380} = 8,48A$$

$$\text{c) } I_1 = \frac{U}{2R} = \frac{380}{2 \cdot 25,9} = 7,33A \quad P_1 = U \cdot I_1 = 380 \cdot 7,33 = 2790W$$

$$\text{d) } \%P = \frac{P - P_1}{P} \cdot 100 = \frac{5,6 - 2,79}{5,6} = \%50,1$$

Örnek 9.17

3 fazlı bir motorun etiketinden şu değerler alınmıştır. 12 PS; 30 A; 220 V (Δ): $\cos \phi = 0,89$; verim 0,867 a) motor hangi 3 fazlı şebekelerde Y ve Δ çalışır mı? b) motorun çektiği görünür gücü ve yıldız ile üçgen bağlamalardaki hat akımlarını bulunuz. c) kör ve hakiki güçleri hesaplayınız.

Çözüm 9.17

$$\text{a) } Y = \frac{220}{380} V ; \quad \Delta : \frac{127}{220} V, \text{ veya } 220 V \text{ üç hatlı şebeke}$$
$$S = \frac{12,0,736}{0,867 \cdot 0,59} = 11,45 \text{ kvA} \quad I_Y = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{11450}{\sqrt{3} \cdot 380} = 17,4A$$
$$I_{\Delta} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{11450}{1,73 \cdot 220} = 30A$$



b) $\cos \varphi = 0,89$; $\varphi = 27^\circ$; $\sin \varphi = 0,454$
 $P = S \cdot \cos \varphi = 11,45 \cdot 0,89 = 10,2 \text{ kW}$
 $Q = S \cdot \sin \varphi = 11,45 \cdot 0,454 = 5,2 \text{ k VAR}$